



PUCRS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

**AVALIAÇÃO DE MÉTODO INSTRUMENTAL DE INSPEÇÃO DE
POSTES DE MADEIRA EM SERVIÇO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

MARCOS ANTONIO DE OLIVEIRA CRUZ
ENGENHEIRO ELETRICISTA

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Porto Alegre
Maio, 2011



PUCRS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

AVALIAÇÃO DE MÉTODO INSTRUMENTAL DE INSPEÇÃO DE POSTES DE MADEIRA EM SERVIÇO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

MARCOS ANTONIO DE OLIVEIRA CRUZ

ORIENTADOR: PROF.DR. MARÇAL JOSÉ RODRIGUES PIRES

COORIENTADOR: Prof^a. DR. BERENICE ANINA DEDAVID

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

Trabalho vinculado ao P&D PUCRS/AES Sul - Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Rede de Energia Elétrica - Fase III

Porto Alegre

Maio, 2011

Se queres progredir não deves
repetir a história, mas fazer
uma história nova.
Para construir uma nova
história é preciso trilhar novos
caminhos.

Gandhi

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, com minha formação profissional e pessoal. Em especial, minha esposa Ana Paula e meu filho Gabriel.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por me conceder a vida e a graça de realizar este trabalho.

A minha querida esposa Ana Paula e a meu filho Gabriel, sempre ao meu lado, dando-me forças e apoiando minhas decisões, em todos os momentos dessa jornada.

A minha mãe que, desde o início e, especialmente nos tempos mais difíceis, esteve presente na minha caminhada.

Agradeço o incentivo dos amigos Adriano Gabiatti e Pedro Montani, que possibilitou minha inserção no universo da pesquisa acadêmica.

A meus familiares e aos amigos mais próximos - Rogério e Veroni -, por compreenderem minhas ausências.

Quero agradecer a meus líderes na AES Sul, em especial ao José Clayton, que possibilitou minha participação presencial nas aulas.

Aos técnicos das coordenações operacionais de Canoas, Montenegro e Novo Hamburgo, que participaram dos levantamentos de campo e da retirada de postes para os testes de flexão.

Ao professor André Bartholomeu, da Universidade São Francisco, pelo apoio na realização em conjunto dos testes com ultrassom e pela disponibilização do equipamento utilizado nesse trabalho.

Agradeço aos orientadores - Prof. Marçal Pires e Prof.^a Berenice Dedavid -, pelo apoio e dedicação; aos companheiros Flávio Vidor, Jocarli Alencastro, Rafael Abruzzi, Willian Spagnollo, Ariela Cardoso e a Prof.^a Silvia Kalil, que ajudaram nos trabalhos de campo, e aos demais integrantes do projeto.

Finalmente, a empresa AES Sul, pela oportunidade proporcionada, aos professores e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS.....	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE SÍMBOLOS.....	16
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	24
2.1. Objetivo Geral.....	24
2.2. Objetivos Específicos	24
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1. Propriedades Físicas da Madeira.....	25
3.1.1. Densidade.....	27
3.1.1.1. Deterioração da madeira.....	28
3.1.2. Umidade.....	29
3.1.3. Retração da madeira.....	32
3.2. A utilização do eucalipto na fabricação de poste de madeira.....	33
3.2.1. Postes de eucaliptos utilizados no Brasil	35
3.2.2. O tratamento e preservante utilizados na madeira	40
3.2.3. Descrição do processo de aplicação do preservante nos postes de eucalipto.....	40
3.2.4. Estrutura da rede de distribuição instalada em postes.....	42
3.2.5. Manutenção nos postes de madeira em serviço.....	44
3.3. Ensaios dos materiais.....	46
3.3.1. Ensaios destrutivos	47
3.3.1.1. Ensaio de Flexão	47
3.3.2. Ensaios Mecânicos Não Destrutivos.....	49
3.3.2.1. Ensaios utilizando raios-X.....	49

3.3.2.2. Ensaio utilizando ultrassom.....	50
3.3.2.3. Ensaio utilizando medição da impedância elétrica.....	55
3.3.2.4. Ensaio utilizando o resistógrafo	57
3.3.2.5. Ensaio utilizando Pilodyn	59
3.3.2.6. Ensaio utilizando equipamento higrodensimétrico	60
3.4. Técnica da Inspeção higrodensimétrica	62
3.4.1. Modelo para calibração da avaliação não destrutiva	65
3.4.2. Inspeção com dispositivo higrodensimétrico nos postes de madeira da Suíça	68
3.4.3. Validação do dispositivo higrodensimétrico no Brasil.....	70
4. MATERIAIS E MÉTODOS	72
4.1. Área de atuação.....	75
4.2. Inspeção Tradicional.....	76
4.3. Inspeção com dispositivo higrodensimétrico	79
4.4. Inspeção com Ultrassom.....	83
4.5. Teste de resistência à flexão.....	86
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	90
5.1. Apresentação dos resultados brutos das inspeções higrodensimétricas nos postes de madeira	90
5.2. Módulo de resistência calculado pelo equipamento higrodensimétrico.....	95
5.3. Proposta de classificação dos postes de madeira de eucalipto.....	100
5.4. Avaliação de postes em serviços pelo método de ultrassom.....	103
5.5. Comparação dos resultados entre métodos.....	106
5.5.1. Comparação entre o teste higrodensimétrico e a inspeção tradicional. ...	106
5.5.2. Comparação dos resultados do teste higrodensimétrico com o ultrassom.	109
5.5.3. Comparação dos resultados do teste higrodensimétrico com o teste de resistência de ruptura à flexão	111
5.5.4. Vantagens e desvantagens do equipamento higrodensimétrico na aplicação de inspeção em poste de madeira em serviço.	114
6. CONCLUSÕES	116
6.1. Sugestões para trabalhos futuros	117
7. BIBLIOGRAFIA.....	118

8. ANEXOS	123
ANEXO A – Resultado do teste <i>T de Student</i>	123
ANEXO B – Guia de utilização do Polux ®	124
ANEXO C – Tabela completa com os resultados dos testes com Dispositivo higrodensimétrico nos postes de madeira.	143
ANEXO D - Cálculo do MOR_{RES} do teste com ultrassom	161
ANEXO E - Tabela de resultado dos postes testados com ultrassom	162

LISTA DE FIGURAS

Figura1.1. Plantação de Eucalipto no Brasil entre 2004 e 2009.....	22
Figura1.2. Distribuição de postes em serviços no estado do Rio Grande do Sul.....	22
Figura3.1. Secção transversal de um tronco.....	27
Figura 3.2. Exemplos de deterioração da madeira.....	28
Figura 3.3. Variação da resistência da madeira com a umidade.....	30
Figura 3.4. Relação entre a massa específica (ρ) e o teor de umidade máxima da madeira (U_{max}).....	31
Figura 3.5. (a) Vista isométrica da madeira mostrando as três direções principais; (b) Diagrama e retração e inchamento linear, em função do teor de umidade da madeira.	32
Figura3.6.Área e distribuição de florestas plantadas com eucalipto no Brasil em 2009	34
Figura 3.7.Postes de madeira tratada em autoclave.....	35
Figura3.8. Poste de eucalipto utilizado na rede de distribuição de energia elétrica ..	38
Figura3.9. Sinuosidade em Postes de Madeira.....	39
Figura 3.10. Processo de tratamento de postes de eucalipto em autoclave.	41
Figura 3.11. Processo de tratamento com aplicação de auto vácuo.....	41
Figura3.12. Estrutura tipo <i>N</i> . - Fonte: AES Sul (2010).	42
Figura 3.13. Estrutura tipo <i>M</i>	43
Figura3.14. Estrutura tipo <i>B</i>	43
Figura 3.15. Estrutura tipo <i>T</i>	44
Figura 3.16. Estrutura tipo <i>U</i>	44

Figura3.17. Dispositivos utilizados nos testes de flexão desenvolvido no projeto Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Rede de Energia Elétrica - Fase III,	48
Figura3.18. Campo de testes dos ensaios de resistência à flexão dos postes de madeira em Viamão/RS.	49
Figura 3.19.(a) equipamentos de raios-x para inspeção em madeira	50
Figura 3.20.Medição com ultrassom	51
Figura3.21.Tomógrafo de Impedância Elétrica – PICUS®.....	56
Figura 3.22. Esquema de medição com tomógrafo de impedância elétrica	57
Figura 3.23. Utilização do resistógrafo em poste de madeira	58
Figura3.24.Pilodyn 6J.....	60
Figura3.25.Polux ® testando poste de madeira <i>in situ</i>	61
Figura 3.26.Painel Frontal do Polux ®, com a indicação dos aspectos de segurança e manutenção.....	63
Figura 3.27. Vista em corte da aplicação do Polux ® em poste de madeira	64
Figura 3.28. Posicionamento do Polux ®para medição do poste de serviço.....	65
Figura 3.29. Correlação dos dados do Polux ® com os dados dos testes de flexão, nos postes retirados da rede de telefone da empresa <i>France Télécom</i> .66	66
Figura 3.30.Testes não destrutivos e de flexão aplicados nos postes na América do Norte	67
Figura 3.31. Distribuição dos postes de madeira da rede elétrica da Suíça, de acordo com a existência de ruptura à flexão. Fonte: Benoit (2004).	69
Figura 3.32. Distribuição dos 188 postes de madeira, conforme o módulo de flexão residual obtido nas inspeções não destrutivas.....	70
Figura 4.1. Quantidade de postes inspecionados com o dispositivo higrodensimétrico por município.....	72
Figura 4.2. Quantidade de postes testados com o aparelho higrodensimétrico, relacionados ao seu comprimento.....	73

Figura 4.3. Quantidades de postes avaliados com ensaios não destrutivos.	73
Figura 4.4. Fluxograma do processo de inspeção e teste de flexão à resistência de ruptura.....	74
Figura 4.5. Área de concessão da AES Sul, com destaque para região Metropolitana e municípios de Canoas, Montenegro, São Leopoldo e Dois Irmãos.....	75
Figura 4.6. Esquema da rede elétrica da AES Sul, bairro Mathias Velho, circuito CAN - 1075.....	76
Figura 4.7. Etapas: (A) Verificação do apodrecimento externo; (B): Análise da parte interna através de percussão; (C): Identificação dos postes para coleta; (D) Verificação do apodrecimento interno; (E): Retratamento.....	77
Figura 4.8. Esquema para visualização da verificação da madeira no interior do poste	78
Figura 4.9. Polux ® e acessórios.....	79
Figura 4.10. Fixação do equipamento no poste de madeira	80
Figura 4.11. Teclas de interação do Polux ®	80
Figura 4.12. Polux ® em medição de poste de madeira.....	81
Figura 4.13. Polux ® indicando a leitura realizada	81
Figura 4.14. Tela do programa de comunicação entre o equipamento e o computador.....	82
Figura 4.15. Medição com ultrassom em poste de madeira.....	84
Figura 4.16. Layout da área de testes desenvolvido por Alencastro (2010).....	86
Figura 4.17. (A) e (B) – Teste de flexão de poste retirado da rede	89
Figura 5.1. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo higrodensimétrico utilizado nas inspeções dos 467 postes de madeira tratada.	92
Figura 5.2. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo higrodensimétrico utilizado nas inspeções dos postes de madeira tratada com creosoto.....	93

Figura 5.3. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo higrodensimétrico utilizado nas inspeções dos postes de madeira tratada com CCA.....	94
Figura 5.4. Postes tratados com creosoto (a) e com CCA (b), testados com dispositivo higrodensimétrico em função do módulo de resistência à flexão residual. Não foi indicado a unidade devido o MOR ser desconhecido.	95
Figura 5.5. Gráfico da correlação entre dados calculados e corrigidos do dispositivo higrodensimétrico.	96
Figura 5.6. Postes de madeira tratada testados com dispositivo higrodensimétrico com os módulos de resistência à flexão residual corrigidos.....	97
Figura 5.7. Variação do MOR _{RES} para os postes testados com equipamento higrodensimétrico e limites permitidos na Suíça e França para resistência à flexão.....	98
Figura 5.8. Distribuição dos postes segmentados por tipo de preservante CCA (A) e Creosoto (B).....	98
Figura 5.9. Teste estatístico <i>boxplot</i> dos postes testados com o equipamento higrodensimétrico.....	100
Figura 5.10 – Curva do Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov para ensaio de ultrassom.....	105
Figura 5.11 - Postes de madeira tratada testados com ultrassom distribuídos de acordo com os MOR _{RES} calculado.	105
Figura 5.12 Distribuição dos postes conforme tipo de preservante segundo inspeção tradicional e higrodensimétrica.....	108
Figura 5.13 – Quantidade de postes inspecionados com ultrassom segregados por tipo de preservantes.....	109
Figura 5.14 – Quantidade de postes analisados pelo ultrassom agrupados pelo tipo de preservante	110
Figura 5.15 – Correlação entre os percentuais das classes de conservação entre Polux® e Ultrassom.....	111
Figura 5.16 - Correlação dos resultados dos ensaios com dispositivo higrodensimétrico e teste de flexão.....	113

Figura 5.17 - Teste de Kolmogorov-Smirnov entre os resultados dos testes
higrodesimétrico e flexão..... 113

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Classificação da umidade da madeira em função da umidade de equilíbrio e da umidade do ar.	30
Tabela 3.2. Dimensões e dados de resistência mínima para postes de eucalipto segundo a Norma NBR 8457.	36
Tabela 3.3. Elementos físicos e mecânicos característicos de algumas espécies de eucaliptos utilizados na fabricação de postes segundo a norma NBR 8456.	37
Tabela 3.4. Valores dos coeficientes de correlação r por Waubke.....	52
Tabela 3.5. Classes de resistências da Norma SIA 164	52
Tabela 3.6. Classificação da madeira com referência à velocidade do ultrassom	53
Tabela 3.7. Faixa de velocidades para classificação de madeira da espécie <i>Fichte</i> , de acordo com a norma EN338.....	53
Tabela 3.8. Valores da média e do coeficiente de variação dos resultados de ensaio em corpos de prova na condição saturada	55
Tabela 3.9. Valores da média e coeficiente de variação dos resultados de ensaio em vigas estruturais na condição saturada.	55
Tabela 3.10. Classificação dos postes testados com Polux® pelo fabricante na Europa.....	62
Tabela 3.11 Madeira testada no Canadá com o Polux ® e validado com ensaios de flexão.....	67
Tabela 3.12. Resumo geral das espécies de madeira testadas com Polux ®.....	69
Tabela 4.1. Ficha de inspeção de campo.....	78
Tabela 4.2. Classificação do poste de madeira de eucalipto na inspeção tradicional.	79
Tabela 4.3. Planilha eletrônica de inspeção de postes com Polux ®.	82
Tabela 4.4. Tabela dos resultados emitidos pelo Polux® após a inspeção.....	83

Tabela 4.5. Exemplo de dados obtidos pela avaliação de postes em serviço pelo método de ultrassom.....	85
Tabela 5.1. Classificação geral dos postes pelo equipamento higrodensimétrico referente ao quesito Segurança.	91
Tabela 5.2 -. Classificação geral dos postes pelo equipamento higrodensimétrico referente ao quesito Manutenção.....	92
Tabela 5.3. Postes com preservantes Creosoto e CCA testados com dispositivo higrodensimétrico.	100
Tabela 5.4. Comparação entre as classificações das inspeções higrodensimétrica e inspeção tradicional.....	101
Tabela 5.5. Tabela com os parâmetros para madeira europeias utilizadas como referência na classificação dos postes de madeira nas avaliações higrodensimétricas.	102
Tabela 5.6. Proposta de classificação para os postes de madeira de eucalipto nacional.....	103
Tabela 5.7. Número de postes em serviço testados com ultrassom separados em função do tipo de preservante.	104
Tabela 5.8 – Resultados dos testes de ultrassom para os postes de madeira tratada.	106
Tabela 5.9 – Distribuição comparativa dos postes a partir das inspeções tradicional e higrodensimétrica.	107
Tabela 5.10 – Distribuição dos postes classificados de acordo com as inspeções por ultrassom e higrodensimétrica.....	110
Tabela 5.11 - Distribuição comparativa dos postes a partir das inspeções higrodensimétrica e testes de flexão.	112

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	m ²
C	Circunferência na seção de engastamento	m
CA	Circunferência no ponto de aplicação de carga	m
CN	Comprimento nominal	m
CP	Corpo de prova	
DB	Densidade básica	
DAP _{12%}	Densidade aparente a 12% de umidade	
Diam.	Diâmetro do poste	m
D _s	Diâmetro do poste em S/2	m
d	Diferença entre o eixo acima e abaixo da sinuosidade	m
ε _r	Deformação residual no eixo radial	
ε _l	Deformação residual no eixo longitudinal	
ε _t	Deformação residual no eixo tangencial	
E	Comprimento do engastamento	m
ENI	Ensaio não instrumental	
EI	Ensaio Instrumental	
f ₁₂	Tensão de ruptura corrigida para umidade de 12%	N/mm ²
f _u	Tensão de ruptura à umidade aparente	N/mm ²
H%	Teor de umidade	
H	Comprimento total do poste;	m
H _u	Altura útil (H – E– 0,3 m)	m
L	Comprimento final	m
F	Força	N

P_i	Massa da madeira em gramas;	g
P_s	Massa da madeira seca em gramas	g
M	Distância do ponto de aplicação da carga ao dispositivo de tração	
E_{12}	Módulo de elasticidade corrigido à umidade de 12%	N/mm ²
E_μ	Módulo de elasticidade à umidade aparente	N/mm ²
E	Módulo de elasticidade	N/mm ²
E_f	Módulo de elasticidade a flexão	N/mm ²
MOR	Módulo de resistência da madeira na seção de engastamento	N/mm ²
P	Carga de ruptura	N
R^2	coeficiente de determinação	
U	Porcentagem de umidade	
U_{AMB}	Umidade relativa do ambiente	
U_{EQ}	Umidade de equilíbrio da madeira	
V	Classificação verde do poste de madeira	
VC	Classificação verde piscante do poste de madeira	
RC	Classificação vermelho piscante do poste de madeira	
R	Classificação vermelha do poste de madeira	
V_{sat}	Volume da madeira saturada m ³	
V_{seca}	Volume da madeira saturada	m ³
X	Flecha	m
Y poste	Deslocamento do ponto de aplicação de carga em direção à base do poste	m
y	Deslocamento horizontal	m
Z	Distância do poste ao local de tração	m
σ	Ângulo formado entre poste e cateto x (Flecha) Graus	

σ_f	Limite de resistência à flexão	N/mm ²
σ_r	Tensão real	N/mm ²
$r \sigma$	Tensão de ruptura	N/mm ²
$rc \sigma$	Tensão de ruptura a compressão	N/mm ²
MORf	Tensão de ruptura a flexão	N/mm ²
ΔP	Variação da carga aplicada no trecho elástico	m
Δf	Variação da flecha aplicada no trecho elástico	m
Δx	Flecha Máxima com carga nominal	m
Δy	Flecha no sentido horizontal	m
θ	Ângulo entre força normal ($n F$) e a força resultante ($r F$)	Graus
ρ	Massa específica aparente	kg
ρ_{apa}	Densidade aparente	
S	Sinuosidade	
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura	
V_{RRMIN}	Velocidade propagação da onda ultrassônica na direção radial	(m/s)
V_{SURF}	Velocidade de propagação da onda ultrassônica de superfície	(m/s)
t_{RR}	tempo de propagação onda ultrassônica radial	(μ s)
t_{SURF}	tempo de propagação da onda ultrassônica na superfície do poste	(μ s)

RESUMO

CRUZ, MARCOS. **Avaliação de Método Instrumental de Inspeção de Postes de Madeira em Serviço na Rede de Distribuição de Energia Elétrica**. PORTO ALEGRE, 2010. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

Este trabalho tem por objetivo avaliar um equipamento comercial para a inspeção instrumental de postes de madeira em serviço na rede de distribuição de energia elétrica, baseado em medidas de propriedades físicas (umidade e densidade). Os resultados obtidos foram comparados com o método tradicional de inspeção (não instrumental), baseado na verificação visual, acústica e de resíduos sólidos retirados do interior do poste; e com os testes destrutivos de flexão executados segundo a norma NBR 6231 para postes previamente inspecionados e retirados de serviço. Através da análise dos dados foi possível avaliar o grau de assertividade do método instrumental, bem como indicar a viabilidade técnica de seu uso na rotina de manutenção dessas estruturas pelas empresas do setor elétrico.

Palavras-chave: Método Instrumentado Não Destrutivo, Postes Madeira de Eucalipto; Tempo de Vida; Rede de Distribuição Elétrica; Teor de umidade do poste de eucalipto.

ABSTRACT

CRUZ, MARCOS. **Evaluation of instrumental method of inspection of wooden poles in service in network of electricity.** PORTO ALEGRE, 2010. Work plan. Post-Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL

This study aims to evaluate a commercial equipment for inspection of wood poles in service in the distribution network of electric power, based on measurements of physical properties (moisture and density). The results were compared with the traditional method of inspection (non-instrumental) based on visual inspection, on acoustic and solid waste removed from the interior of the pole, and on the destructive bending tests performed according to standard NBR 6231, for poles previously inspected and removed from service. Through the data analysis it was possible to assess the degree of assertiveness of the instrumental method and to indicate the technical feasibility of its use in routine maintenance of these structures by electrical companies.

Key Words: Non-destructive method of the inspection, Eucalyptus poles; Lifetime; Distribution Network of electric power; Moisture Content Eucalyptus poles.

1. INTRODUÇÃO

Os postes de madeira utilizados nas redes de distribuição e transmissão de energia elétrica são fabricados, na sua grande maioria, a partir de árvores do gênero *Eucalyptus*, que, de acordo com Bertola (2010), são nativas da Austrália e pertencentes à família das Mirtáceas (a mesma da goiabeira, da jabuticabeira e da pitangueira). Existem cerca de 670 espécies do gênero, identificadas pelo Serviço Florestal da Austrália e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *E.deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano. Além disso, existe também uma grande variedade de híbridos, que são as composições entre as espécies do gênero.

O eucalipto é considerado uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia, sendo exótico em todas as outras partes do mundo. No século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (Pryor, 1976; FAO,1981).

No Brasil, consta que as primeiras mudas chegaram em 1825, para fazer parte do acervo do Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Devido ao rápido crescimento, foram introduzidas com objetivo de ornamentar praças e bosques, além de serem utilizadas como barreira contra os ventos nos campos de produção agrícola (Pereira, et. al., 2000).

Para Bertola (2010), é difícil determinar com segurança a data de introdução do eucalipto no Brasil. Há algum tempo, tinha-se certo que os primeiros plantios aconteceram no Rio Grande do Sul, em 1868, por Frederico de Albuquerque.

A Figura 1.1 apresenta os dados de 2009 da ABRAF (Associação Brasileira dos Produtores de Produtores de Florestas Plantadas) indicando que o Brasil plantou cerca de 4,5 milhões de hectares de florestas de eucalipto, correspondendo a 4,4% de crescimento, se comparado ao mesmo período de 2008.

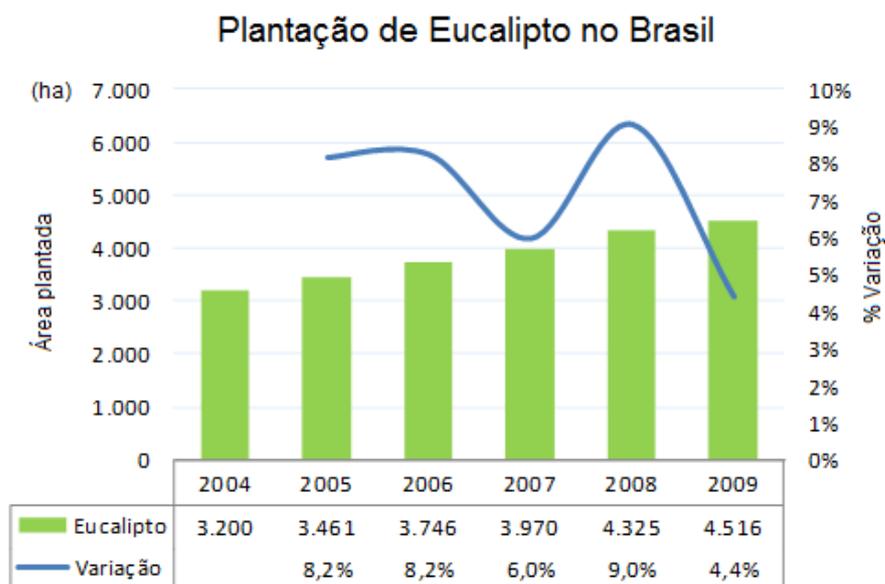


Figura1.1. Plantação de Eucalipto no Brasil entre 2004 e 2009

Adaptação: ABRAF (2010).

Os postes de madeira de eucalipto tratados são apresentados às concessionárias de energia elétrica como alternativa técnica e ecológica, além de economicamente viável, o que proporciona uma melhor relação custo/benefício para atender qualitativamente as redes de energia elétrica (Geraldo, 2005).

No Brasil, em particular no Rio Grande do Sul, a utilização do gênero *Eucalyptus* para estrutura de suporte da rede elétrica e de comunicação é bastante representativa. A Figura 1.2 apresenta os dados das três principais concessionárias de energia elétrica do estado.

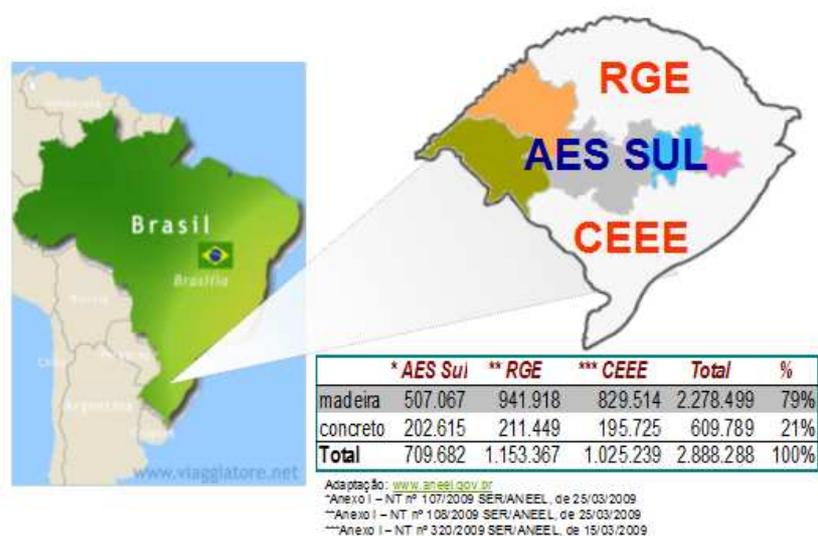


Figura1.2. Distribuição de postes em serviços no estado do Rio Grande do Sul

Adaptação: ANEEL (2009).

Os dados revelam que em 2009 utilizava-se 2.888.288 postes, sendo 2.278.499 (79%) de madeira e 609.789 (21%) de concreto (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL -, 2009).

Para garantir a segurança da rede elétrica, na qual o poste de madeira é a principal estrutura de apoio, devem ser realizadas inspeções preventivas e periódicas, tendo em vista o próprio conceito da manutenção utilizado por Arato Junior (2004), evitando as situações de emergências.

Atualmente, utiliza-se o método não instrumental, baseado na percussão, exame visual e esforço lateral, considerado um teste subjetivo e vinculado à experiência do inspetor de campo. Dessa forma os resultados dependem da sensibilidade de quem está inspecionando, o que os torna menos precisos (AES Sul, 2010-A). Nesse contexto, esse trabalho propõe testar e comparar um equipamento de técnica não destrutiva, capaz de determinar através da densidade e umidade da madeira, o nível de segurança, além de estimar o período de reinspeção e manutenção para o poste em serviço.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o método proposto de ensaio instrumental, através do uso de um equipamento comercial, baseado nas características físicas da madeira, umidade e densidade, a fim de inferir o estado de conservação e estimar o período de manutenção para os postes de eucalipto em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica.

2.2. Objetivos Específicos

- Estabelecer protocolo de utilização e ajuste de parâmetros de calibração do equipamento comercial, adaptados às condições locais.
- Identificar a taxa de assertividade do equipamento comercial por meio da comparação dos resultados com os dados:
 1. das inspeção não instrumental de postes em serviço;
 2. dos testes destrutivos de flexão normatizados;
 3. com os ensaios de ultrassom em postes de serviço e retirados da rede elétrica.
- Analisar a viabilidade da utilização da técnica instrumental para a inspeção em larga escala de postes de madeira em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado à revisão da literatura sobre o poste de madeira de eucalipto, o qual descreve a formação da madeira, suas características biológicas e propriedades mecânicas. Nessa abordagem sistêmica sobre o eucalipto, será relatada sua chegada ao Brasil, em 1865, passando, em seguida, à atual produção no território brasileiro e os principais estados produtores. Serão relatadas também as espécies de eucaliptos utilizadas como postes na rede de distribuição de energia elétrica, bem como a descrição das normas que prescrevem as características. Na seqüência serão apresentados os preservantes e os ensaios mecânicos que validam a utilização desses postes na rede de distribuição de energia elétrica.

A realização do tratamento no poste de madeira, a descrição do processo de aplicação do preservante, e as estruturas que compõem a rede elétrica são também apresentadas. Há, ainda, a inserção de um tópico específico sobre manutenção dos postes na rede elétrica e o embasamento para a construção de um plano de manutenção, em conformidade com indicadores de continuidade do órgão regulador. Por fim, a inclusão de ensaios mecânicos a que os postes são submetidos nesse trabalho, com ênfase nos testes não destrutivos utilizando sistemas de ultrassonografia e higródensimétrico.

A revisão bibliográfica está dividida em duas partes, sendo que a primeira (inicia no item 3.1) descreve os aspectos gerais da madeira de eucalipto, suas propriedades, tratamentos químicos, características dos postes de eucalipto e normas técnicas. A segunda parte (inicia no item 3.3) está direcionada para os ensaios de materiais e as técnicas utilizadas nos testes de flexão, ensaios não-destrutivos dos postes de madeira de eucalipto.

3.1. Propriedades Físicas da Madeira

A seção transversal de um tronco de uma árvore, segundo Pfeil (2003), possui as seguintes camadas: casca, albarno, cerne, a medula e *cambium*. A casca é a proteção externa da árvore; é formada por uma camada morta, de espessura variável, conforme sua idade cronológica e espécie, e por uma fina camada interna, de tecido vivo e macio, que conduz o alimento preparado nas folhas para as partes em crescimento.

O albarno é a camada formada por células vivas que conduzem a seiva das raízes para as folhas; tem espessura variável conforme a espécie, geralmente de 3 a 5 cm, apresenta-se com uma coloração mais clara e com menor densidade que o cerne.

O cerne é a composição das células inativas do albarno, tem a coloração mais escura e a função de sustentar o tronco, é mais impermeável e por isso possui menor umidade que as outras partes da madeira.

A medula é um tecido macio, em torno do qual se verifica o primeiro crescimento da madeira; ocupa a região central do tronco, por ter um tecido macio está suscetível aos ataques de fungos, causando seu apodrecimento.

O *cambium* é uma camada microscópica localizada sob a casca, que através da divisão das células gera os anéis de crescimento da árvore.

O floema ou casca interior situa-se entre o *cambium* e a casca, é responsável pelo armazenamento e transporte da seiva elaborada. Com o tempo, as células mais externas do floema morrem e passam a compor a casca. A casca exterior tem a função de proteger o tronco durante seu crescimento. Na Figura 3.1 é possível observar a distinção dessas camadas principais, através da coloração.

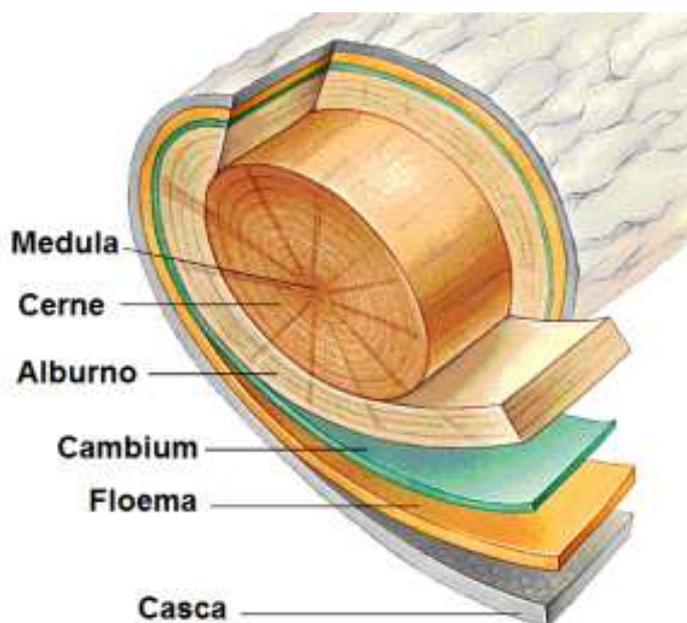


Figura3.1. Secção transversal de um tronco

Adaptação: <http://www.uic.edu/classes/bios/bios100/lectf03am/treetrunk.jpg>

De acordo com a disposição e o arranjo dessas camadas de crescimento do tronco/caule, acredita-se que tal ordem se caracterizaria melhor a partir das principais propriedades físicas da madeira advindas desse sistema orgânico como: anisotropia, umidade, retração e dilatação linear.

3.1.1. Densidade

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) a densidade básica da madeira é definida como sendo a massa específica convencional resultante da relação da massa seca pelo volume saturado.

A massa seca é conhecida depois de os corpos de prova secarem em estufa a 103°C até o equilíbrio, ponto em que a massa permanece constante com o aumento da temperatura e avanço do tempo. O volume saturado é determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante.

A densidade da madeira está relacionada à umidade através do indicador Massa Específica Aparente – MEA. A cada unidade de volume aparente e, a partir do teor de umidade, é possível determinar o peso e a dureza da madeira. Assim, a variação da concentração do tecido lenhoso por unidade de volume traduz-se na compatibilidade da madeira. Nas espécies comerciais, as propriedades físicas da

madeira têm expressiva variação, tanto de umidade, como aos teores de água, devido às infiltrações no alburno e cerne.

A densidade é variável para cada espécie, bem como pode haver variação dentro de uma mesma espécie. Na Austrália, a título de exemplificação, ocorrem variações importantes na madeira de árvores de uma mesma espécie, como *E. pilularis* com variações de 0,6 a 0,8 g/cm³ (Hillis; Brown, 1978).

3.1.1.1. Deterioração da madeira

A deterioração é um fator que afeta diretamente a propriedade de resistência da madeira e pode ocorrer devida à ação de agentes físicos, químicos e biológicos. Os fatores biológicos são os mais importantes e consistem no ataque de bactérias, fungos, insetos e brocas marinhas.

Entre os decompositores biológicos, merecem especial atenção os fungos. Organismos cujas formas e modos de vida variam desde uma levedura até um cogumelo comestível, passando pelos endófitos e os degradadores de madeira. (Alexopoulos, 1996 apud Vidor, 2003).

O efeito da ação dos fungos e insetos xilófagos na madeira pode ser visto nas Figuras 3.2 de (a) a (c). Na Figura 3.2(a) um poste de madeira atacado por fungos com o alburno comprometido, expondo o cerne ao ambiente. Na Figura 3.2(b) um aglomerado tipo MDF atacado por cupins (IPT, 2007) e na Figura 3.2(c) imagem da Preschen (2010), amostras identificando o estado da madeira interna de postes em serviço, na qual a mais escura foi atacada por fungos e as mais claras, são madeiras sadias.



Figura 3.2. Exemplos de deterioração da madeira

3.1.2. Umidade

A umidade na madeira é um fator preponderante que influencia diretamente sua propriedade mecânica e a sua resistência aos fungos. A quantidade de água das madeiras verdes ou recentemente cortadas oscila de acordo com as espécies e com a estação do ano. A faixa de variação da umidade das madeiras verdes tem teores variando entre 30 e 60%, para as madeiras mais resistentes e teores de 130%, para as madeiras mais macias (Pfeil, 2003).

Na madeira, a umidade pode aparecer de duas formas: através da água acumulada no interior da cavidade das células ocas - fibras -, e na água retida pelas paredes das fibras.

Segundo Pfeil (2003), devido ao efeito da umidade nas diversas propriedades da madeira, é comum referenciar essa característica através da normatização de um índice padrão para os valores de umidade. No Brasil e nos Estados Unidos, adota-se 12% como umidade-padrão de referência. A umidade indica o teor de água existente na madeira, que é expresso pela relação percentual entre a diferença do peso de água contida na amostra e o peso de madeira seca em estufa P_s , de acordo com a expressão 3.1:

$$H(\%) = \frac{P_i - P_s}{P_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

Onde:

P_i = Peso inicial da amostra

P_s = Peso da madeira seca em estufa

$H(\%)$ = Teor de umidade

A maior parte da madeira é constituída por celulose, uma substância cuja principal característica é a necessidade constante de água, utilizada no desenvolvimento da planta. A quantidade de água absorvida pela madeira influencia, assim, o crescimento da árvore.

Os anéis de crescimento da árvore, na retração da madeira transversal tangencial, são de dimensões irregulares, podendo oscilar o teor de umidade entre 5% a 10%, na passagem da madeira do tipo seco para a saturada. Após a extração

da madeira, dada a umidade, podem surgir complicações, do tipo empenamentos e fissuras.

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a umidade pode ser classificada em quatro classes, mostradas na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Classificação da umidade da madeira em função da umidade de equilíbrio e da umidade do ar.

Classes de Umidade	Umidade Relativa do Ambiente U_{AMB}	Umidade de Equilíbrio da madeira U_{EQ}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{AMB} < 75\%$	15%
3	$75\% < U_{AMB} < 85\%$	18%
4	$U_{AMB} > 85\%$ durante longos períodos	$> 25\%$

Fonte: NBR7190 (ABNT, 1997).

Com o propósito de ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira, em função das condições ambientais de exposição da madeira, criaram-se as classes de umidades. Estas classes também podem ser utilizadas para a escolha de métodos de tratamentos preservativos das madeiras.

A finalidade das classes de umidade é adequar as características de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais nas quais permanecerão as estruturas. Estas classes também podem ser utilizadas para a escolha de métodos de tratamentos preservativos das madeiras, conforme menciona a NBR 7190 (ABNT, 1997).

A Figura 3.3 apresenta o gráfico de variação da resistência à compressão com a umidade.

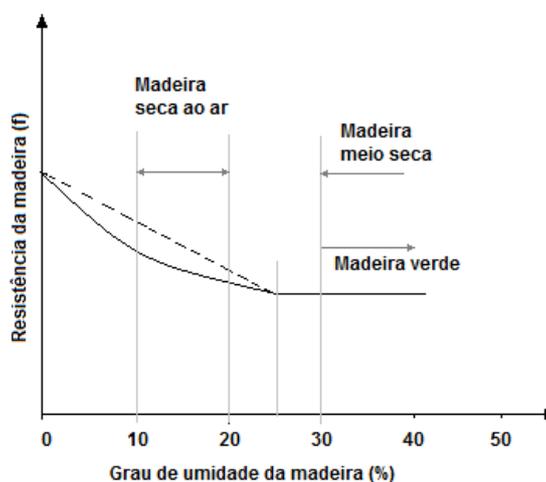


Figura 3.3. Variação da resistência da madeira com a umidade

Fonte: PFEIL (2003).

Observa-se que acima dos 30% de umidade - ponto de saturação das fibras -, o peso específico da madeira, juntamente com seu volume, não se altera, permanecendo com a mesma resistência. De outra forma, realizando a secagem da madeira abaixo do limite de saturação das fibras, observa-se que o volume se reduz, havendo um incremento no peso específico e na resistência.

Considera-se que a variação das propriedades da madeira entre 2% e 25% é basicamente linear. Segundo a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) é possível corrigir os valores de resistências, para os corpos de prova (CPs) cujo teor de umidades esteja entre 10% e 20%, para uniformizar os valores utilizando a umidade padrão de 12%, permitindo uma tolerância de 3% de variação na resistência e de 1% na variação da umidade. Para o módulo de elasticidade a correção é feita admitindo-se 2% de variação.

As equações (3.2) e (3.3) mostram as expressões para correção de tensão de ruptura e módulo de elasticidade para a umidade de referência.

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U-12)}{100} \right] \quad (3.2)$$

$$E_{12} = E_U \left[1 + \frac{2(U-12)}{100} \right] \quad (3.3)$$

Onde:

f_{12} : Tensão de ruptura corrigida para umidade de 12% (N/mm²)

f_U : Tensão de ruptura a umidade aparente (N/mm²)

E_{12} : Módulo de elasticidade corrigido a umidade 12% (N/mm²)

E_U : Módulo de elasticidade a umidade aparente (N/mm²)

U : Porcentagem de umidade aparente

Para Moreschi (2002), a relação entre a umidade e densidade da madeira pode ser descrita através da curva indicada na Figura 3.4. Observa-se na curva exponencial que quanto mais alta a densidade da madeira, menor o teor de umidade.

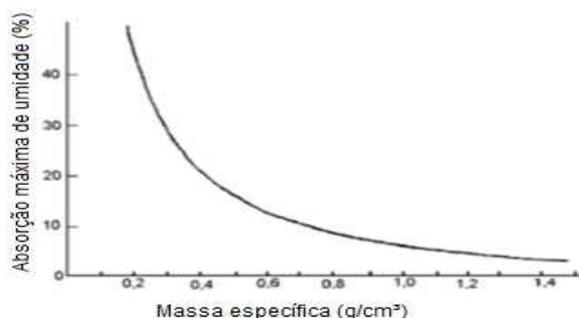


Figura 3.4. Relação entre a massa específica (ρ) e o teor de umidade máxima da madeira (U_{max})
Fonte: Moreschi (2002).

3.1.3. Retração da madeira

A propriedade da madeira relacionando a variação dimensional com o teor de umidade é conhecida por retratilidade, ocorrendo até que o equilíbrio higroscópico seja atingido. As variações iniciam quando se perde ou se recebe umidade abaixo do limite de saturação das fibras, que de modo geral, acontece entre 28 a 30% de umidade. Dependendo da forma de secagem e do comportamento da madeira, pode-se ocasionalmente levar a alterações da forma e ao aparecimento de fendas e empenos.

Na Figura 3.5, Pfeil (2003), apresenta vista isométrica da madeira mostrando as deformações nos eixos longitudinal, radial e tangencial, com suas respectivas porcentagens de ocorrência.

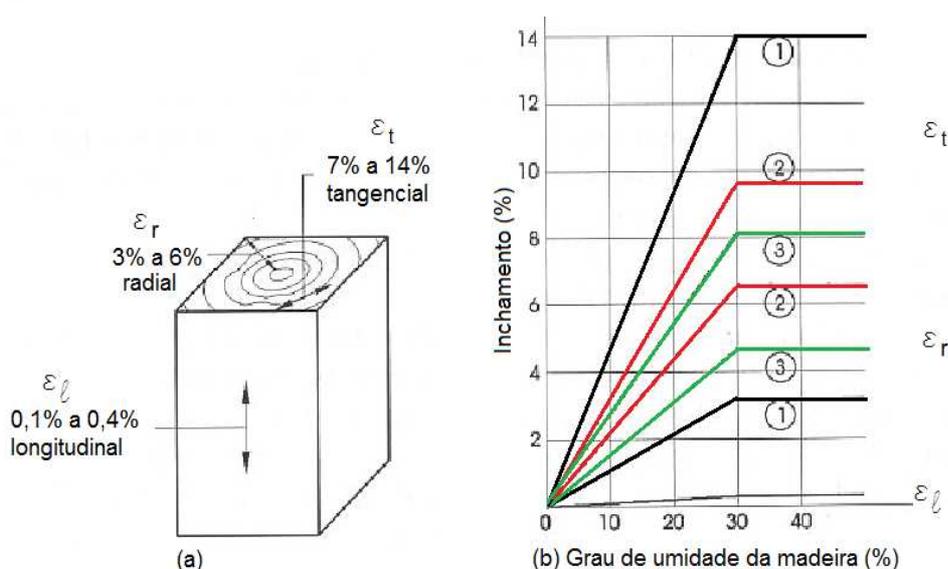


Figura 3.5. (a) Vista isométrica da madeira mostrando as três direções principais; (b) Diagrama e retração e inchamento linear, em função do teor de umidade da madeira.

Adaptação: Pfeil (2003).

No diagrama, observa-se a linearidade da relação umidade e retração ou inchamento dos três tipos de madeira, principalmente no intervalo entre 0 e 30% de umidade. Pfeil (2003) apresenta o diagrama de três tipos de madeira: (1) carvalho brasileiro, (2) eucalipto e (3) pinho brasileiro.

3.2. A utilização do eucalipto na fabricação de poste de madeira

No Brasil, o eucalipto foi apresentado por volta de 1865. A princípio, fora vislumbrado apenas como árvore decorativa; sua produção para aproveitamento industrial iniciou-se em 1903. Em 1916, no estado de São Paulo, postes de *Eucalyptus longifólias* sem preservantes foram instalados na rede de telegrafia, porém pela própria natureza do material, com sua baixa durabilidade aos ataques de fungos e outros agressores, esses postes duraram apenas seis anos, mostrando a necessidade de um tratamento preservativo que lhe prolongasse a vida útil.

Entre 1920 e 1930, novas tentativas de utilização de postes de eucalipto, sem tratamento, foram repetidas, em função do aumento na demanda de postes, em face da expansão da energia elétrica, que havia iniciado a produção nas usinas hidrelétricas, já no final do século XIX (Francischinelli, 2006).

Para Rech (2001), foram três os principais fatores que levaram ao uso do eucalipto como poste de madeira: disponibilidade da matéria-prima, relativa escassez de outras espécies florestais e por fim a crescente demanda por postes devido à expansão do telégrafo, telefone e energia elétrica.

Com a grande demanda de postes de eucalipto, em 1936, surgiu a primeira empresa de capital privado que tratava a madeira com creosoto através do método banho quente-frio. Após as dificuldades de obter o produto, alterou sua produção para o método de *Boucherie*, que utiliza produtos à base de fluoreto – dicromato – dinitrofenol.

Na década de 1970, o setor ganhou um grande impulso, em função do aperfeiçoamento tecnológico das indústrias e do surgimento de grandes áreas de florestas plantadas, principalmente o eucalipto. Desde então, sua crescente utilização tem-se justificado pelo fato de o poste de madeira tratada ser um material de alta durabilidade, aliado a uma série de outras vantagens.

Hoje, o Brasil apresenta grandes reservas florestais, oriundas de reflorestamento, porém necessitam de exploração adequada (Macedo, 2000 apud Dias, Azambuja, Oliveira Júnior, 2006).

A produção mundial de madeira para fins estruturais encontra-se por volta de 10 bilhões de toneladas ao ano, o que torna este material muito importante no contexto mundial.

Na Figura 3.6, tem-se a distribuição das florestas plantadas em 4.515.730 hectares no Brasil. O estado do Rio Grande do Sul, apesar do crescimento na área de plantio em 2009, ficou em 5º lugar na produção nacional com 271.980 hectares plantados ABRAF (2010), abaixo da posição ocupada em 2007 (quando foi o 4º produtor com área 81% menor que a alcançada em 2009) (ABRAF, 2009).

A norma NBR-8456 (ABNT, 1984) define que os postes de madeira no país devem ser fabricados a partir das madeiras de florestas plantadas de *Eucalyptus*, das seguintes espécies: *E.alba*, *E.botryoides*, *Corymbia citriodora*, *E.paniculata*, *E.rostrata* e *E.tereticornis*.

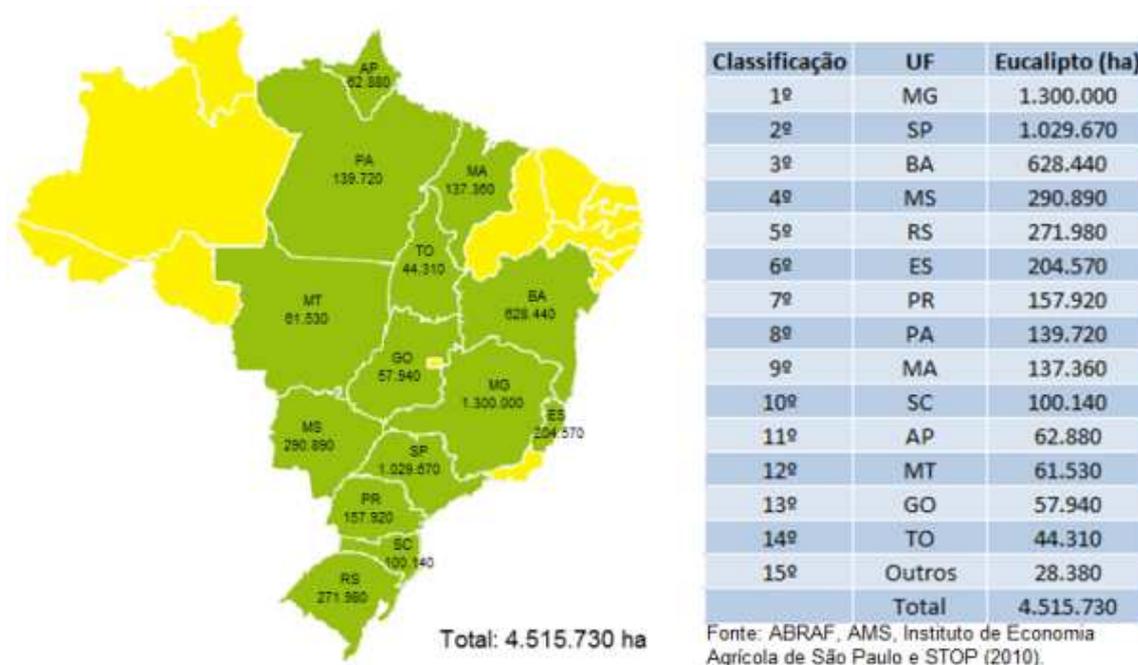


Figura3.6.Área e distribuição de florestas plantadas com eucalipto no Brasil em 2009

Fonte: ABRAF (2010).

Trata-se de espécies que produzem madeiras de alta resistência e densidade. Entretanto, a partir de 1984, a situação da cultura do eucalipto no Brasil alterou-se e outras espécies foram utilizadas para fabricação de postes para a rede elétrica: *E.saligna* e *E.grandis*, *E.dunni*, além do híbrido *E.urograndis*. Há, ainda, outras interessantes opções, tais como *E.cloeziana* e *E.pellita*.

Contudo é importante ressaltar que a norma em questão está em processo de revisão em função de contemplar algumas espécies que praticamente não são mais plantadas no Brasil, assim como não relaciona outras utilizadas. Além das espécies pré-definidas de eucaliptos, a norma NBR8456/1984 determina as faixas de

resistências mecânicas dos postes e das madeiras, o teor de umidade para o momento do tratamento preservativo e a quantidade de preservativo que deve conter no poste entre outros parâmetros. A revisão da norma está sendo liderada pela Associação Brasileira de Preservadores de Madeira – ABPM.

3.2.1. Postes de eucaliptos utilizados no Brasil

Os postes de eucalipto no Brasil são elaborados em conformidade com NBR 8456 (ABNT, 1984) e variam em comprimentos de 6 a 24 metros; os diâmetros na base mais usuais estão entre 25 a 35 cm. Entre os postes utilizados pela AES Sul, encontram-se postes de 9 a 24 m de altura, utilizados para a distribuição e transmissão de energia.

A Figura 3.7 mostra postes utilizados na rede de distribuição de energia elétrica tratados em autoclave, (a) logo após o tratamento, ainda úmidos e (b) postes secos e agrupados no estaleiro, prontos para uso.



(a) (b)

Figura 3.7. Postes de madeira tratada em autoclave

Fonte: www.postesmariani.com.br

Observa-se que a base e o topo do poste recebem reforços para evitar rachaduras devido às intempéries; para base utiliza-se uma chapa de metal, pregada ao poste e, no topo, há um arame que evita rachaduras e entrada de água na parte superior do poste. Os postes, após a produção, saem com uma placa metálica de identificação com dados do fabricante tais como altura, preservativo utilizado e data de fabricação. As espécies utilizadas podem variar em função do seu uso na

distribuição ou transmissão de energia elétrica e da disponibilidade de madeira no momento da produção (Arruda, 2006).

A tabela 3.2 apresenta a classificação dos postes de madeira segundo a NBR 8457 (ABNT, 1984).

Tabela 3.2. Dimensões e dados de resistência mínima para postes de eucalipto segundo a Norma NBR 8457.

Item	L (m)	Tipo	Resistência Nominal R_n (daN)	Flecha Máxima (mm)	Dimensões (mm)						
					Engastamento (mm)	Diâmetro (mm)		Perímetro (mm)			
						A 200 mm do topo - DC	Engastamento De	Topo A		Base B	
Min.	Máx.	Min.	Min.	Máx.	Máx.						
1	9	L	150	450	1500	115	145	181	355	459	616
2		M	300			146	178	210	452	562	738
3		P	600			179	219	251	556	961	836
4		XP	1000			220	270	297	685	851	980
5	10	L	150	500	1600	115	145	196	355	459	666
6		M	300			146	178	228	452	562	767
7		P	600			179	219	268	556	961	892
8		XP	1000			220	270	309	685	851	1021
9	10,5	L	150	525	1650	115	145	203	355	459	690
10		M	300			146	178	236	452	562	793
11		P	600			179	219	278	562	961	925
12		XP	1000			220	270	314	685	851	1038
13	11	L	150	550	1700	115	145	211	355	459	716
14		M	300			146	178	245	452	562	823
15		P	600			179	219	288	961	961	958
16		XP	1000			220	270	320	851	851	1059

Fonte: NBR 8457 (ABNT, 1984).

A classificação dos postes de madeira está relacionada à sua altura, resistência nominal à ruptura e dimensões em geral. Cada letra adotada recebeu um significado para expressar o tipo de poste – L = leve, M = médio, P = pesado e XP = extra pesado. A NBR 8457/1984, preconiza as dimensões do poste de eucalipto na rede de distribuição. Além dos dados contidos nas tabelas acima, os postes são avaliados de acordo com as normas internas das empresas, com base na NBR 8456.

Na tabela 3.3, conforme a NBR 8456, têm-se as características físicas e mecânicas dos postes de eucalipto, determinando os mínimos valores para o poste ser considerado aceitável nos testes de flexão à resistência.

Tabela 3.3. Elementos físicos e mecânicos característicos de algumas espécies de eucaliptos utilizados na fabricação de postes segundo a norma NBR 8456.

Espécie de Eucalipto	Massa específica aparente (15% de umidade) - (kg/m ³)	Características físicas				Características mecânicas						
		Retratibilidade				Limite de Resistência à flexão (daN/cm ²)		Índice de Rigidez (If)	Módulo de elasticidade à flexão (daN/cm ²)		Cisalhamento (daN/cm ²)	Dureza Janka (daN/cm ²)
		Radial	Tangencial (%)	Volumétrica (%)	Coefficiente de Retratibilidade	Madeira verde	Madeira a 15% de umidade		Módulo	Limite de proporcionalidade		
<i>Alba</i>	830	5,8	12	20,4	0,6	968	1247	23	131300	386	126	642
<i>Birtryoides</i>	890	6,9	13,1	22	0,63	1157	1460	26	154500	470	115	749
<i>Citriodora</i>	1090	6,5	9,6	17,8	0,76	1561	1730	32	181900	841	182	1045
	1040	6,6	9,5	19,4	0,77	1140	1238	36	136000	481	166	341
	980	6,9	9,4	18,2	0,78	1500	1673	24	177000	668	149	913
<i>Paniculata</i>	1090	7,3	13,6	23,1	0,79	1451	1772	39	201800	716	169	986
	1060	7,5	14,5	24,5	0,76	1320	1760	24	185000	554	155	890
<i>Rostrata</i>	870	6,8	15,5	25,9	0,48	878	1150	24	101600	389	105	645
<i>Tereticornis</i>	990	7,3	16,7	23,9	0,45	1018	1340	34	120200	509	110	839
	950	6,9	13,4	23	0,65	1270	1576	17	133200	590	137	689

Fonte: NBR 8456 (ABNT,1984).

A Tabela 3.4 apresenta os parâmetros característicos dos postes de madeira, que são considerados pelas concessionárias, pois seguem os critérios determinados na NBR 8456/1984, na especificação do poste de eucalipto. Além dos postes, as estruturas de madeira de eucalipto que complementam a rede elétrica também são tratadas com preservantes, tais como cruzetas, canaletas, moirões de escoramento (AES Sul, 2008).

Tabela 3.4. Parâmetros para especificação do poste novo de eucalipto

	NBR 8456/84	Conversão
a) limite de resistência à flexão	$\sigma_f = 850 \text{ daN/cm}^2$	$\sigma_f = 85 \text{ N/mm}^2$ ou 85 MPa
b) módulo de elasticidade à flexão	$E = 130.000 \text{ daN/cm}^2$	$E = 13.000 \text{ N/mm}^2$ ou 13.000 MPa
c) massa específica aparente	$\rho = 0,9 \text{ kg/m}^3$	
d) coeficiente de segurança mínimo	$k = 3$	
e) conicidade da árvore	$5 \text{ mm/m} < \alpha < 10 \text{ mm/m}$	

Adaptação: NBR 8456 (ABNT, 1984).

Para a AES Sul (2008), o poste de madeira, além das características da Tabela 3.4, também deve conter o tratamento preservativo, que compreende a impregnação sob pressão dos postes, que deve ser realizado pelo processo de célula cheia. Os preservativos utilizados no tratamento do poste de madeira, os hidrossolúveis, são à base de Cobre, Cromo e Arsênio (CCA). A Figura 3.8 mostra o perfil do poste de madeira utilizado na rede de distribuição.

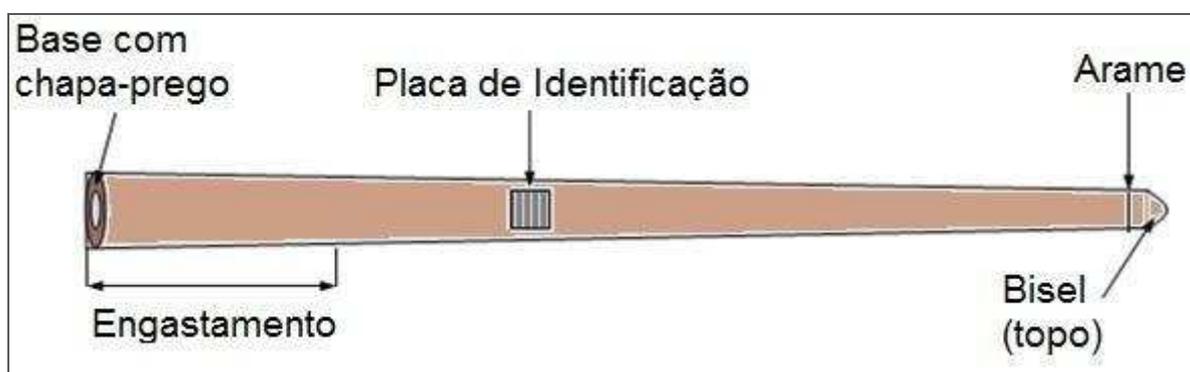


Figura 3.8. Poste de eucalipto utilizado na rede de distribuição de energia elétrica

Fonte: AES Sul (2010).

O valor médio da retenção ao tratamento preservativo a que foi submetido um lote de postes não deve ser inferior a $11,1 \text{ kg/m}^3$ e o valor mínimo que qualquer poste individualmente deve conter é $9,6 \text{ kg/m}^3$, não sendo tolerável qualquer valor inferior ao estabelecidos na NBR 8456/1984. Os postes não podem apresentar defeitos inaceitáveis, devem ser isentos sinais de apodrecimento, especialmente no cerne. Também não são aceitáveis as avarias no alburno, provenientes do corte ou transporte, fraturas transversais, depressões acentuadas, orifícios, pregos, cavilhas ou quaisquer peças metálicas, não especificamente autorizadas. Segundo a NBR

8456 (ABNT, 1984), são denominados defeitos aceitáveis: a curvatura, sinuosidade em qualquer trecho, fendas no topo, corpo e base do poste.

Para a AES Sul, é caracterizada não conformidade o fornecimento de um poste de madeira que esteja com falta de qualquer item da sua especificação, determinando assim a sua rejeição. Este procedimento é realizado por um fiscal representante da empresa, que inspeciona e coleta as amostras para análise posterior. No caso de rejeição das peças inspecionadas, todos os postes do lote, devem ser substituídos por peças novas e em conformidade com a ABNT. Casos de sinuosidade, conforme Figura 3.9, são consideradas aceitáveis desde que ocorram simultaneamente $S > 1,5\text{m}$ e $d < D_s/2$.

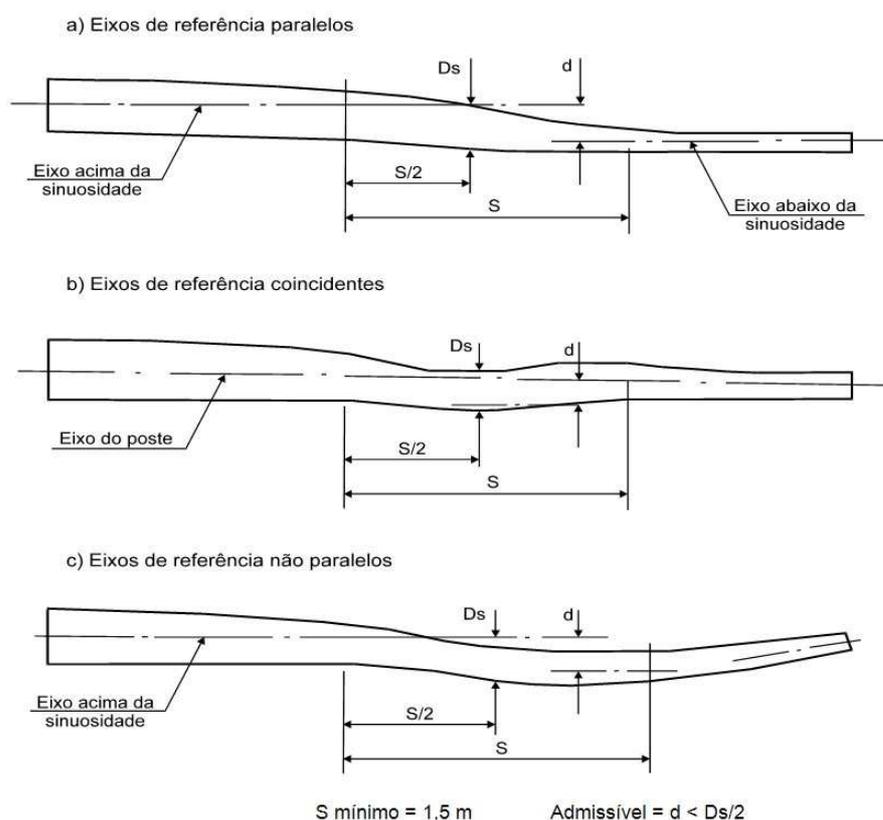


Figura3.9. Sinuosidade em Postes de Madeira

Fonte: NBR 8456 (ABNT, 1984).

Onde:

S – Comprimento do trecho onde existe a sinuosidade

D_s – diâmetro da seção média das partes sinuosas.

d- desvio entre eixos

Uma vez recebidos, esses postes são depositados em estaleiros próprios, aguardando a utilização nas obras de manutenção ou construção de rede elétrica.

3.2.2. O tratamento e preservante utilizados na madeira

O processo de preservação do poste de eucalipto tem por finalidade imunizá-lo e protegê-lo da ação degradante de agentes químicos, físicos e biológicos. Para tanto, utiliza-se o processo de célula cheia em autoclaves, que é um cilindro de aço, normalmente com 2,00m de diâmetro e até 25,00m de comprimento, capaz de suportar pressões de até 18 kg/cm², interligado a tubulações, bombas e tanques.

Para que o resultado com o tratamento seja eficiente, a madeira precisa estar seca, ou seja, com no máximo de 30% de umidade. No ambiente aberto, leva-se entre 45 e 90 dias para se obter essa condição. Isso dependendo do clima da região. Assim, há uma melhor penetração do material ativo.

Anos atrás, utilizava-se o creosoto – composto derivado do petróleo -, na preservação dos postes de madeira. Sua utilização foi proibida pelas autoridades sanitárias do país, pois além de deixar a madeira com uma coloração preta, o principal fator é seu alto teor de toxicidade, contudo, muito efetiva quanto a preservação. Naquela época, as espécies de eucaliptos mais utilizadas eram *E.tereticornis*, *E.paniculata* e *C.citriodora*, madeiras de alta densidade e excelente resistência mecânica.

Abolido o uso do creosoto, o tratamento de madeira para postes tem sido feito com o preservativo hidrossolúvel arseniato de cobre cromatado (CCA) constituído de sais de cobre, cromo e arsênio. Paralelamente, a eucaliptocultura desenvolveu novos e produtivos clones de eucaliptos, com excelentes formas e volumes em suas árvores. Espécies como *E.saligna*, *E.grandis*, *E.dunnii* e o híbrido *E.urograndis* passaram a abastecer toras para as unidades de preservação de madeira, assim como os postes passaram a ser fabricados com essas espécies.

3.2.3. Descrição do processo de aplicação do preservante nos postes de eucalipto

A Figura 3.10 mostra as etapas do processo de célula cheia em autoclave em uma usina de tratamento de poste de eucalipto. A primeira etapa envolve o

carregamento da vagonete com as madeiras virgens. Posteriormente, com os postes na autoclave, a entrada é lacrada com porcas e parafusos; realiza-se o tratamento com o preservante durante determinado período e, em seguida, o procedimento está concluído. Logo depois desse processo, os postes estão devidamente tratados e prontos para serem comercializados.



Figura 3.10. Processo de tratamento de postes de eucalipto em autoclave.

Fonte: <http://www.reflorasa.com/eucalipto.htm>

Na Figura 3.11 nota-se o processo de tratamento da madeira, de forma detalhada. Inicia-se com aplicação de vácuo para abrir os poros da madeira, automaticamente. Após essa etapa, o produto do tratamento começa a ser transferido, por pressão, do reservatório para o interior da autoclave.

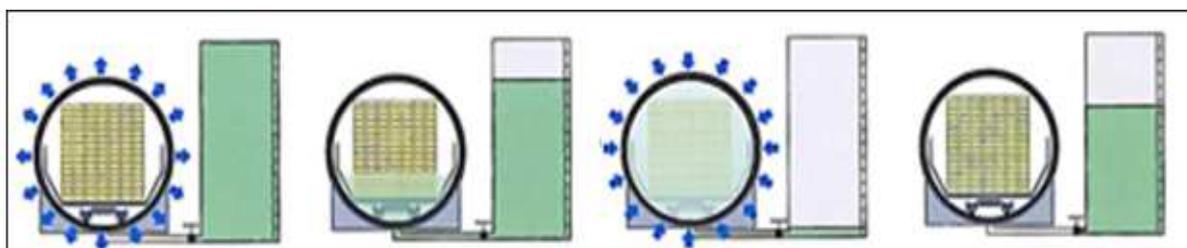


Figura 3.11. Processo de tratamento com aplicação de auto vácuo

Fonte: Postes Mariani (2010).

Concluída a transferência, aplica-se pressão no interior da autoclave por determinado período, afim de que o produto impregne a madeira. Finalizado esse

procedimento, é aplicado um vácuo no interior da autoclave, para retirar o excesso de produto e disponibilizar a madeira devidamente tratada para o estaleiro.

3.2.4. Estrutura da rede de distribuição instalada em postes

De acordo com a tipologia da rede elétrica, existem vários tipos de montagens das estruturas de sustentação dos cabos elétricos. Para a rede de distribuição aérea, comumente utilizada no estado do Rio Grande do Sul, destacam-se as estruturas com cruzetas de eucalipto tratado.

São cinco tipos de estruturas – N, M, B, T e U -, combinadas a quatro tipos de terminação. As de final 1 e 2 são estruturas utilizadas quando o condutor passa pelo isolador, peça de porcelana, vidro ou polimérico, que, como o nome demonstra, isola o condutor da estrutura. Além de serem disponíveis em classes de tensão, de acordo com a rede elétrica; no caso da AES Sul, a tensão é de 25 kV -, tanto tangencialmente, quanto em ângulo. Nesse último, os condutores deverão passar lateralmente nos isoladores.

Para as terminações 3 e 4, os cabos fazem a ancoragem da rede, o que cria um ponto para tracionamento. Para as terminações de final 3, denominadas *fim de rede*, a rede é simplesmente ancorada. Na estrutura de final 4, além da ancoragem, a rede prossegue através da passagem do condutor para a outra estrutura montada atrás da que recebeu a rede. É como se existissem duas estruturas tipo 3, montadas uma de costas para outra. Nas Figuras 3.12 a 3.17, observam-se os tipos de montagens com as variações nas terminações. Na Figura 3.12, observa-se a estrutura tipo N, na qual a cruzeta é instalada simetricamente ao poste; nesse caso denomina-se estrutura *normal*.

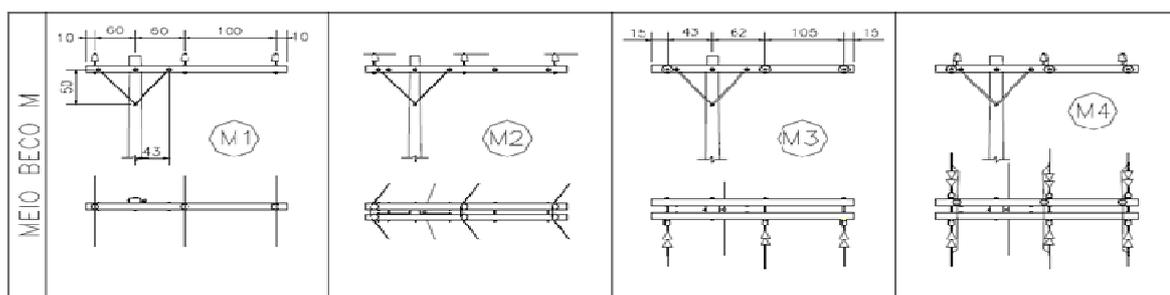


Figura 3.12. Estrutura tipo N. - Fonte: AES Sul (2010).

Na Figura 3.13, tem-se uma estrutura tipo M, cuja cruzeta é instalada de forma a deslocar seu centro. Além de distanciar a rede elétrica de possíveis

obstáculos, este tipo de estrutura diminui os ângulos dos condutores entre os vãos e é denominada estrutura *meio beco*.

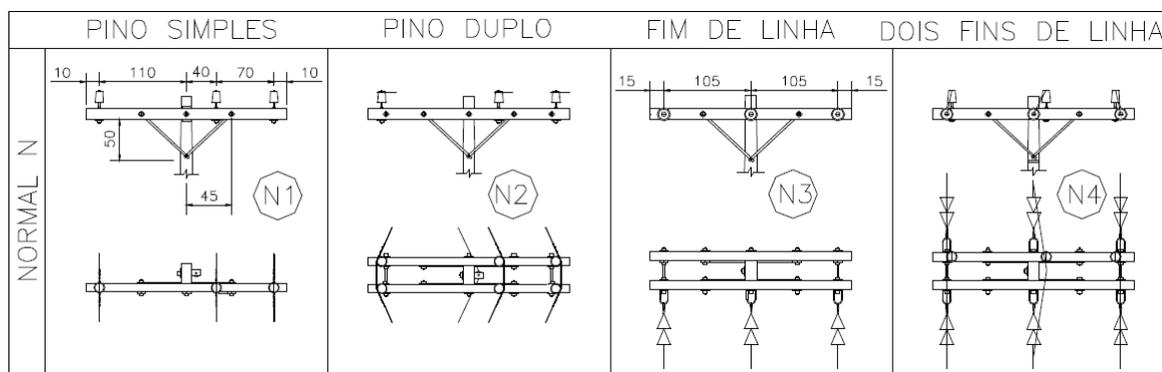


Figura 3.13. Estrutura tipo *M*

Fonte: AES Sul (2010).

Na Figura 3.14, verifica-se uma estrutura tipo *B*, cuja cruzeta é instalada deslocando os três isoladores para fora do eixo do passeio público, a fim de distanciar a rede elétrica de possíveis obstáculos, como, por exemplo, fachadas de prédios. Essa tipologia tem a denominação estrutura *beco*.

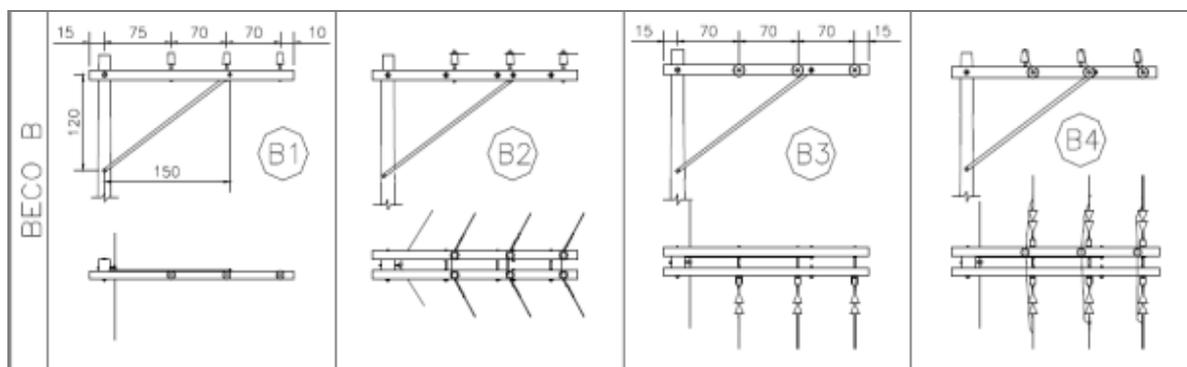


Figura3.14. Estrutura tipo *B*

Fonte: AES Sul (2010).

Na Figura 3.15, é apresentada a estrutura tipo *T*, cuja cruzeta é instalada centralizada ao poste. Os isoladores, no entanto, são dispostos equidistantes. O isolador central é instalado no topo do poste.

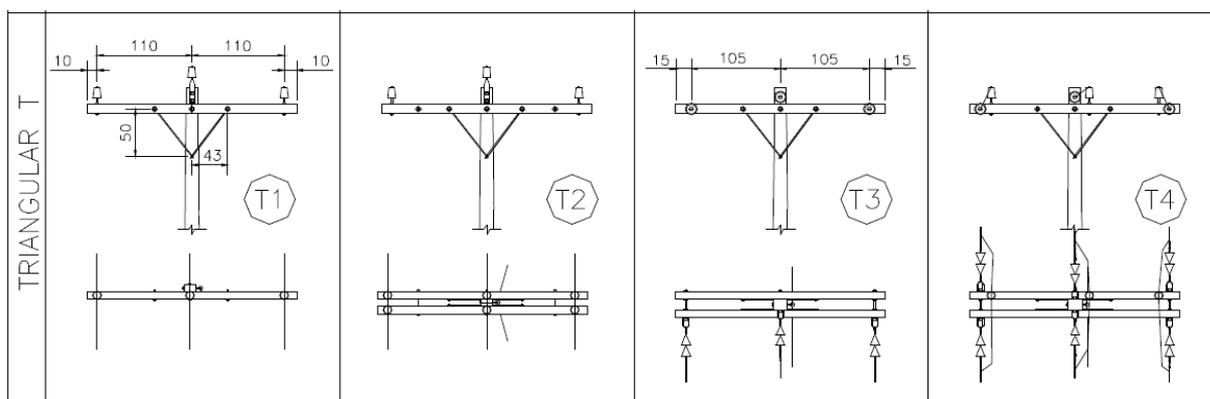


Figura 3.15. Estrutura tipo *T*

Fonte: AES Sul (2010).

Na Figura 3.16 é apresentada a estrutura tipo *U*, utilizada na zona rural, para redes monofásicas – um único condutor -, não possui cruzeta, somente o isolador no topo o poste.

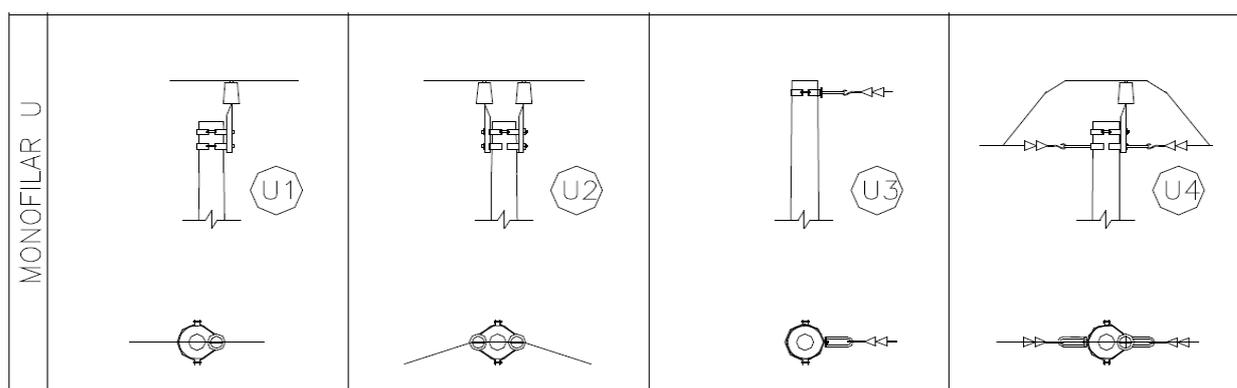


Figura 3.16. Estrutura tipo *U*

Fonte: AES Sul (2010).

3.2.5. Manutenção nos postes de madeira em serviço

Segundo Arato Junior (2004), a manutenção compreende uma ação capaz de manter ou restabelecer as condições operacionais de um equipamento ou material. O termo *manter* denota a realização de intervenções, com a finalidade de conservar determinado material ou equipamento para garantir a continuidade e qualidade de sua função.

Existem basicamente três tipos de manutenção – a corretiva, sistemática ou preventiva e a preditiva ou condicional. Na manutenção corretiva, a intervenção é estritamente com fins curativos, ou seja, atua-se no equipamento após sua avaria.

Outra situação, definida como sistemática ou preventiva, é o tipo de manutenção que utiliza a estatística em seu favor. Seguem recomendações de fabricantes e de conhecimento prático do equipamento. A partir desta, são elaborados programas de manutenção com inspeções e intervenções periódicas. E por fim, há a manutenção preditiva ou condicional, na qual as ações de manutenção são condicionadas a partir das informações sobre o estado físico - deterioração -, do equipamento ou sistema.

Desta forma, para manter as condições físicas e seguras dos postes de madeira em serviço, a AES Sul possui procedimentos que orientam seus colaboradores de campo a praticar inspeção tradicional, antes de escalar um poste de madeira.

Na inspeção tradicional, é verificada a condição física da madeira, buscando defeitos no poste, que possam colocá-lo em risco de queda. O electricista de campo é capacitado para identificar com as batidas do martelo *ponta e pá*, o estado interno do poste e, pelo esforço lateral, a sua capacidade de sustentação da rede. As situações de risco encontradas em campo são informadas às coordenações para proceder a manutenção adequada no poste em questão. Normalmente, o poste de madeira é substituído por concreto, exceto nos locais onde não há acesso para o transporte desses postes. Esse tipo de manutenção está inserido no modelo de corretiva.

Embora não seja realizado retratamento com produtos à base de boro nos postes de madeira, existe um plano de substituição desses postes por postes de concreto. Manutenção considerada como preventiva, pois as substituições são programadas, e os critérios de elaboração do plano são elencados a partir de históricos das incidências da rede elétrica. São atribuídos pesos aos equipamentos com maiores incidências durante um determinado período com atuação por causa poste e priorizados os que tiveram maior impacto nos indicadores da empresa, definidos pelo órgão regulador ANEEL, como a *Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – DEC* –, indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um intervalo de tempo. Outro indicador é a *Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – FEC* –, ou seja, a quantidade de vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora.

Desta forma, o plano de manutenção é desenvolvido com base na maior abrangência do plano na rede elétrica, que é segregada em trechos de rede limitados por equipamentos de proteção. Busca-se, assim, a melhor assertividade na distribuição dos recursos a serem aplicados na rede. Considerando o desempenho e a criticidade de cada trecho de rede, busca-se a classificação desses trechos quanto a sua prioridade na execução da manutenção. No caso do plano de manutenção de 2011, os dados utilizados para a definição dos índices de desempenho e criticidade foram analisados no período de outubro de 2009 a setembro de 2010. Estão previstas para o ano de 2011, a substituição de aproximadamente 40 mil postes, sendo 15 mil em manutenção corretiva e 25 mil em preventiva AES SUL (2010-B).

3.3. Ensaio dos materiais

Garcia et al (2000) relata que para viabilizar um projeto de um produto qualquer é necessário conhecer profundamente as suas características e propriedades. Para isso, foram desenvolvidos os ensaios dos materiais que possibilitam o levantamento das propriedades mecânicas e a maneira como se comportam sob condições de esforço. Os ensaios são regularizados por normas, a fim de padronizar sua execução e uniformizando os resultados, estabelecendo uma linguagem única entre os fornecedores e consumidores dos materiais.

Desta forma, os ensaios mecânicos possibilitam a determinação das características que se referem ao comportamento do material quando exposto a ação de esforços físicos, exprimindo os resultados em função de tensões e/ou deformações.

A análise sobre o ensaio de materiais permite classificá-los quanto a sua integridade geométrica e dimensional, e quanto à velocidade de aplicação da carga. No caso da integridade geométrica e dimensional, utilizam-se testes destrutivos – aquele que após executados inutiliza-se a peça -, são casos dos testes de tração, dureza, fadiga, fluência. E ensaios não destrutivos – testes executados sem comprometer a integridade peça -, abrangem os testes de ultrassom, impedância sônica ou hidrodensimétrico.

Para os testes com a velocidade de aplicação da carga, destaca-se o ensaio estático – quando a carga, aplicada lentamente, induz uma sucessão de estados de equilíbrio -, são os ensaios de tração, compressão, flexão, torção e dureza.

Existem outros ensaios nessa categoria, porém não usualmente utilizados para os postes de madeira, casos de ensaios de fadiga, impacto e fluência.

3.3.1. Ensaio destrutivos

São técnicas utilizadas nos ensaios mecânicos que se caracterizam pela inutilização total ou parcial da peça, ou seja, o material é rompido não podendo ser utilizado na mesma função que ocupava anteriormente ao ensaio.

Para os postes de madeira, objeto desse estudo, foi utilizado o ensaio de flexão para validar os resultados obtidos com equipamento de ensaios não destrutivos. Segundo a NBR 8456/1984, para os ensaios de resistências à flexão, é necessário definir o tamanho da amostragem e a quantidade de peça a ser inspecionada. Desta forma, a norma prescreve que para um grupo de até 200 postes um poste deverá ser submetido aos esforços mecânicos, a fim de determinar o módulo de ruptura à flexão e seu módulo de elasticidade. Caso o ensaio não seja satisfatório, repete-se o ensaio com o dobro de amostras da primeira.

3.3.1.1. Ensaio de Flexão

Segundo Garcia et al (2000), o ensaio de flexão é o teste que se realiza em materiais, onde se aplicam cargas de valores crescentes, confrontando esses valores com os valores de deformação máxima.

No Brasil a NBR 6231 (ABNT, 1980) prescreve o modo pelo qual devem ser realizados os ensaios de resistência à flexão dos postes de madeira. Submetendo-os ao método denominado viga engastada em balanço, aplica-se uma carga contínua e com velocidade conhecida.

Entretanto, Miná (2006) afirma que para se ter uma adequada utilização os postes devem ser caracterizados e classificados em função de suas formas, defeitos e capacidade resistente. Assim, Miná (2006) apresenta três erros graves na atual norma de ensaio, NBR 6231/1980, sendo um erro na equação da velocidade de

carregamento, e outros dois erros na equação da determinação do módulo de elasticidade, no valor do comprimento “L” e no deslocamento a ser considerado. O erro em função da velocidade de carregamento é avaliado comparativamente com o método de ensaio prescrito pela ASTM D 1036/97, a qual adota o mesmo mecanismo de carregamento. Quanto aos erros na equação do módulo de elasticidade, estes são avaliados pelo Processo dos Trabalhos Virtuais.

No projeto *Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Rede de Energia Elétrica - Fase III*, do qual este trabalho é parte integrante, foi idealizado um dispositivo por Alencastro (2010), conforme apresentado na Figura 3.17, de acordo com a norma ASTM D 1036/97. Os dispositivos montados no campo de testes são para os ensaios de flexão dos postes de madeira retirados da rede elétrica.

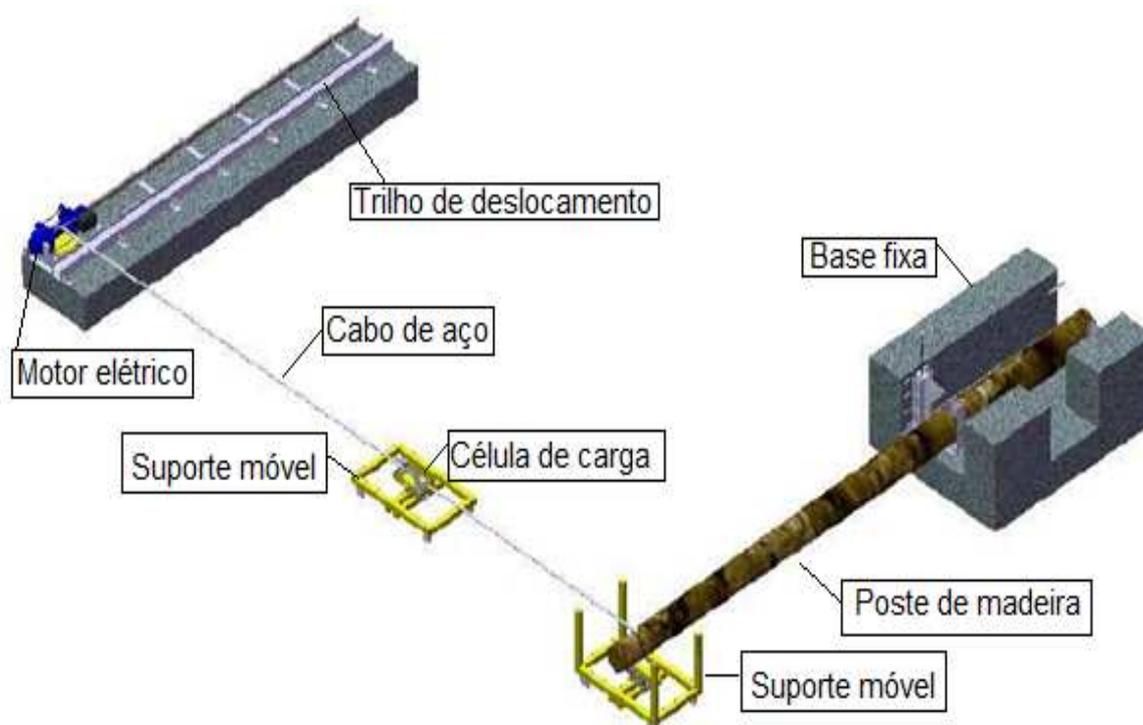


Figura3.17. Dispositivos utilizados nos testes de flexão desenvolvido no projeto Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Rede de Energia Elétrica - Fase III,

Fonte: Alencastro (2010).

A Figura 3.18 ilustra o campo de teste construído no *campus* da PUCRS em Viamão/RS, em operação com um poste de madeira de 9 metros sendo submetido ao ensaio de flexão.



Figura3.18. Campo de testes dos ensaios de resistência à flexão dos postes de madeira em Viamão/RS.

3.3.2. Ensaios Mecânicos Não Destrutivos

Os Ensaios Não Destrutivos – END - caracterizam-se por serem técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los; são empregadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção de peças, materiais o equipamentos (Abendi, 2010). Constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para garantir a qualidade, reduzir os custos e aumentar a confiabilidade da inspeção.

É possível determinar a densidade de qualquer material, através de ensaios de laboratórios, utilizando-se pequenos corpos de provas extraídos dos elementos. A densidade também pode ser determinada *in situ*, através de métodos não destrutivos. Esses métodos são condicionados por vários fatores, como custo em termos de mão-de-obra e de equipamento, já que envolvem a extração de amostras (Feio, 2005).

3.3.2.1. Ensaios utilizando raios-X

De acordo com Anthony (2005), a técnica de raios-x foi descoberta desde 1895 por Roentgen, porém utilizada nas inspeções de estruturas de madeira a partir de 1960. O processo radiográfico baseia-se na transmissão dos raios-x entre pontos do corpo avaliado. A radiação emitida está diretamente relacionada à densidade do

material analisado e seu resultado é uma imagem bidimensional do interior do corpo, conforme mostra a Figura 3.19 (b). Na Figura 3.19(a) apresenta o equipamento de raios-x para os ensaios na madeira.

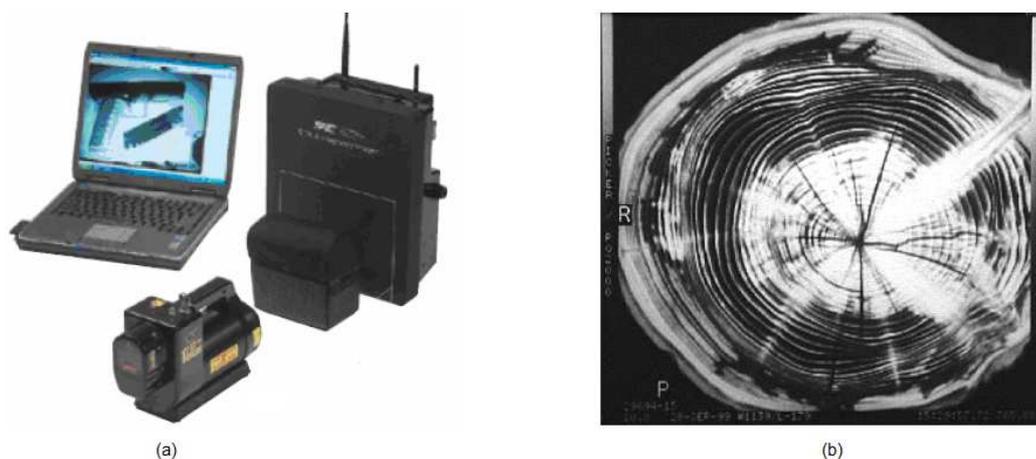


Figura 3.19.(a) equipamentos de raios-x para inspeção em madeira
(b) imagem resultada da inspeção com raios gama.

Fonte: Botelho Junior (2006).

O fato de os resultados permitirem a identificação das deteriorações e outras imperfeições na madeira fez com essa técnica fosse utilizada com frequência. Porém o custo elevado e o risco de contaminação à exposição da radiação atômica determinaram sua substituição por equipamentos de radiografia por raios gama, conhecida por radiografia digital.

Esse novo modelo de inspeção apresenta diversas vantagens sobre a radiografia com raios-x, com um menor risco de contaminação, menor custo e pela capacidade de fornecer uma imagem de melhor qualidade e em tempo real, como se fosse uma filmadora (Botelho Júnior, 2006).

3.3.2.2. Ensaio utilizando ultrassom

O equipamento de ultrassom é um gerador de ondas eletromagnéticas, capaz de fornecer frequências superiores a 20 kHz (20.000 ciclo por segundo) e inferiores a 100 MHz. A propagação dessa onda na madeira caracteriza-se pela atenuação da onda que é resultado dos fenômenos de dispersão e absorção.

Podem-se ter onda longitudinal, quando atravessa a peça no mesmo sentido da vibração e as ondas transversais ou de cisalhamento, quando a onda ocorre perpendicular às vibrações (Pelizan, 2004).

Acompanhados de um exame visual prévio, essa técnica pode fornecer informações sobre as condições internas dos elementos da madeira e sobre sua capacidade de resistência residual (Sandoz, 1989).

Para determinar defeitos locais esse método pode ser usado com uma precisão extraordinária, além de permitir uma boa interpretação das propriedades locais dos elementos *in situ*. Na Figura 3.20 observa-se a leitura com o ultrassom em um corpo de prova de madeira.



Figura 3.20. Medição com ultrassom

Bartholomeu (2001) utilizou um equipamento de ultrassom para classificar peças de madeiras das espécies *Corymbia Citriodora*, *Cupiúba* e *Pinus elliottii*. Esse autor descreve o uso do ultrassom pelos pesquisadores como Waubke, Sandoz e Steiger para classificação de peças estruturais de madeira.

Nils V. Waubke apresentou os resultados de sua pesquisa referentes às correlações entre a velocidade do ultrassom e os módulos de elasticidades dinâmico e estático submetido a flexão em 4 pontos e a tensão de ruptura à flexão (Bartholomeu, 2001). Foram testadas 138 vigas de madeira da espécie *Fichte (Picea*

abies), submetidas a uma umidade de 20%, seco ao ar (13%) e saturado. O resultado é apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Valores dos coeficientes de correlação r por Waubke

Correlação	Condição saturada	Teor de umidade a 20%	Teor de umidade a 13%	Qualquer teor
$V_d \times E_s$	0,52	0,77	0,63	0,71
$V_d \times \sigma_R$	0,71	0,58	0,33	0,67
$V_d \times E_s$	0,78	0,78	0,63	0,77
$V_d \times \sigma_R$	0,78	0,6	0,32	0,67
$E_s \times E_d$	0,88	0,8	0,68	0,83
$E_d \times \sigma_R$	0,83	0,58	0,33	-

Fonte: Bartholomeu (2001).

Onde:

V_d = Velocidade do ultrassom na direção longitudinal, à uma frequência de 42 kHz;

E_s = Módulo de elasticidade na flexão estática ao ensaio de 4 pontos;

σ_R = Tensão de ruptura à flexão estática;

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico.

Da mesma forma, Bartholomeu (2001) apresenta os testes realizados por Sandoz com ultrassom para classificar 192 peças de madeiras da espécie *Sapin* e 391 vigas da espécie *Epicéa*, todas com teor de umidade de 12%. As vigas foram submetidas aos ensaios de flexão estática a 4 pontos baseados na Norma ISO 8375, que teve como resultado os módulos de elasticidade e de tensão de ruptura. Paralelo aos testes de flexão, os exemplares foram submetidos aos ensaios com ultrassom na frequência de 40 kHz.

Sandoz obteve dessa forma, a correlação da velocidade longitudinal na madeira com suas respectivas tensões de ruptura (MOR). Assim, o autor classifica a madeira em classes de resistências apresentadas na Tabela 3.5. As classes seguem a norma Suíça SIA 164 (1982/1992).

Tabela 3.5. Classes de resistências da Norma SIA 164

Classe de resistência	Tensão de Ruptura à Flexão (N/mm ²)	Tensão de Ruptura à Compressão (N/mm ²)	Tensão de Ruptura à Tração (N/mm ²)
FK I	12	10	10
FK II	10	8,5	8,5
FK III	7	6	-

Fonte: Bartholomeu (2001).

Com os dados obtidos, fez-se a correlação entre a velocidade longitudinal do ultrassom com o módulo de ruptura, cujo resultado serviu de base para a construção das faixas de velocidades relacionadas às classes de resistência, conforme apresentada na tabela 3.6.

Tabela 3.6. Classificação da madeira com referência à velocidade do ultrassom

Classe	Faixa de velocidade (m/s)
Classe 0	$V_{LL} \geq 5.800$
Classe I	$5.600 \leq V_{LL} < 5.800$
Classe II	$5.350 \leq V_{LL} < 5.600$
Classe III	$V_{LL} < 5.350$

Fonte: Bartholomeu (2001).

Embora os testes anteriores fossem baseados em normas técnicas, em 1991 foram reestruturadas as normas dos países filiados à Comunidade Europeia, surgindo um novo modelo, a *Euronorm*, com objetivo de unificar e padronizar todos os procedimentos referentes à utilização de materiais nas construções europeias. Assim, a norma em vigor para os ensaios de resistência é a EN 338/1994. (Bartholomeu, 2001).

Com a reestruturação das normas, segundo Bartholomeu (2001), Steiger utilizou-se dos novos padrões na sua pesquisa com ultrassom e vigas de madeira, ensaiando 334 vigas da espécie *Fichte* (*Picea abies*) a 12% teor de umidade, confirmando o método desenvolvido por Sandoz. Dessa forma, o resultado das pesquisas de Steiger é apresentado na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Faixa de velocidades para classificação de madeira da espécie *Fichte*, de acordo com a norma EN338

Classe	Faixa de velocidade (m/s)
HC (Fora de Classe)	$V_{LL} \geq 5.100$
C18	$5.100 \leq V_{LL} < 5.250$
C22	$5.250 \leq V_{LL} < 5.500$
C27	$5.500 \leq V_{LL} < 5.750$
C35	$5.750 \leq V_{LL} < 5.900$
C40	$V_{LL} \geq 5.900$

Fonte: Bartholomeu (2001).

Segundo Bartholomeu e Gonçalves (2007), os resultados apresentados pelos estudiosos mencionados anteriormente, fornecem diretrizes aos pesquisadores brasileiros a fim de estabelecer no país faixas de velocidade que permitam a classificação mecânica da madeira de uso estrutural.

Bartholomeu (2001) utilizou 54 vigas e 108 corpos de prova de madeira da espécie *Cupiúba*, além de 100 corpos de prova e 50 vigas da espécie *C.Citriodora* e 100 corpos de prova e 50 vigas de *Pinnus Elliottii* nos ensaios com ultrassom realizados.

Ao aplicar a onda de ultrassom no corpo de prova, o equipamento registra o tempo de propagação da onda entre o transmissor e receptor. Com o comprimento conhecida do corpo de prova e o valor do tempo indicado pelo equipamento é possível calcular a velocidade de propagação da onda ultrassônica utilizando a equação 3.2.

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{m/s}) \quad (3.2)$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda

L = comprimento do corpo analisado

t = tempo de percurso da onda entre o transmissor e receptor.

Com os dados dos ensaios, Bartholomeu (2001) calculou para cada viga analisada, a constante dinâmica C_{LLV} , e para cada corpo de prova, a constante dinâmica C_{LLC} , através da Equação (3.3).

$$C_{LLV,C} = \rho \cdot V_{LLV,C}^2 \cdot 10^{-4} \quad (\text{kN/cm}^2) \quad (3.3)$$

Onde:

ρ = densidade aparente da madeira em g/cm^3 ,

V_{LLV} = velocidade de propagação da onda na direção longitudinal para as vigas;

V_{LLC} = velocidade de propagação da onda na direção longitudinal para os corpos de provas.

Pode-se assumir a constante C_{LL} como módulo de elasticidade dinâmico (E_d), que pode ser correlacionado com os módulos de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) e de elasticidade à flexão estática (E_M) (Bartholomeu, 2001). Os exemplares

foram ensaiados com teor de umidade controlados próximos de 12% e também na condição saturada, conforme prevê o Anexo B5 da NBR 7190/97. Bartholomeu (2001) realizou a análise estatística dos resultados obtendo as correlações entre o ensaio destrutivo e não destrutivo. Buscando a melhor adequação do modelo matemático, realizou-se também, a correlação das constantes dinâmicas C_{LLc} e C_{LLV} com os módulos de elasticidade estáticos E_{c0} e E_M , uma vez que essas constantes estão diretamente envolvidas com a densidade do material, como podem ser vistos nas Tabelas 3.8 e 3.9.

Tabela 3.8. Valores da média e do coeficiente de variação dos resultados de ensaio em corpos de prova na condição saturada

Espécie		ρ_{PAPA} (g/cm ³)	V_{LLc} (m/s)	C_{LLc} (kN/cm ²)	E_{c0} (kN/cm ²)	f_{c0} (kN/cm ²)
Cupiúba (n=54)	Média	1,03	4.421	2.003	1.361	3,69
	Coef. Variação	2,41	3,05	8,26	22,90	13,00
C. Citriodora (n=50)	Média	1,21	4.511	2.453	1.805	5,48
	Coef. Variação	3,13	2,33	4,10	16,70	9,91
Pinus elliottii (n=50)	Média	0,95	4.143	1.687	658	1,99
	Coef. Variação	9,87	14,1	31,30	32,70	16,30

Fonte: Bartholomeu (2001).

Tabela 3.9. Valores da média e coeficiente de variação dos resultados de ensaio em vigas estruturais na condição saturada.

Espécie		ρ_{PAPA} (g/cm ³)	V_{LLV} (m/s)	C_{LLV} (kN/cm ²)	E_M (kN/cm ²)
Cupiúba (n=54)	Média	1,14	3.867	1.693	1.130
	Coef. Variação	4,26	8,49	16,20	16,30
C. Citriodora (n=50)	Média	1,25	4.432	2.440	1.762
	Coef. Variação	2,86	3,00	5,68	12,39
Pinus elliottii (n=50)	Média	0,95	3.475	1.178	630
	Coef. Variação	8,00	11,50	29,10	27,80

Fonte: Bartholomeu (2001).

3.3.2.3. Ensaios utilizando medição da impedância elétrica

Para Argus (2009), o tomógrafo de impedância elétrica, Figura 3.21, é um instrumento criado para inspeção não destrutiva em árvores, faz uso da tensão e

corrente elétrica para investigar o interior da árvore. O resultado da medição proporciona um mapa bidimensional que evidencia a impedância elétrica da árvore, a chamada tomografia de impedância elétrica. Esse instrumento mede as propriedades químicas da madeira, tais como teor de água ou estrutura celular, propriedades que podem ser alteradas em função do estado físico da árvore, como podridão, cavas e ataques de insetos. Entretanto, é possível sua utilização para inspecionar postes de madeira *in situ*, uma vez que as condições necessárias para a funcionamento do equipamento seja atendida, por exemplo, o poste deve possibilitar fixação de mínimo 6 pregos distanciados de 10 cm uns dos outros na mesma altura da circunferência, ou seja, o poste deve ter no mínimo 20 cm de diâmetro.



Figura3.21. Tomógrafo de Impedância Elétrica – PICUS®

Fonte: Argus (2009).

A Figura 3.22 (a) mostra o campo elétrico em um material homogêneo, suas linhas são perfeitas, sem distorção. No caso da Figura 3.22 (b), o material interno da árvore não está bem distribuído, mostrando um campo elétrico totalmente distorcido, o qual percebe-se nessa Figura.

Usado conjuntamente com o equipamento denominado tomógrafo *Sonic* é possível obter informações avançadas sobre a árvore. Em muitos casos, o resultado pode ser utilizado para analisar o tipo de deterioração ou distinguir entre cavidades e madeira apodrecida.

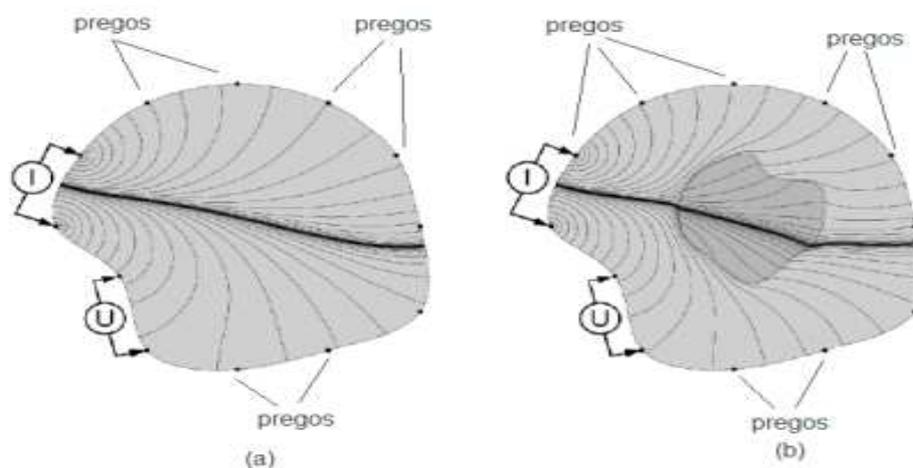


Figura 3.22. Esquema de medição com tomógrafo de impedância elétrica

Fonte: Argus (2009).

A medida realizada com o tomógrafo de impedância elétrica é simples; os fios do equipamento estão ligados aos pregos fixados no tronco da árvore distribuídos com o mesmo espaçamento e na quantidade suficiente para fazer a varredura completa em toda circunferência do tronco. Uma vez conectados os fios no aparelho e nos sensores, a medição é realizada automaticamente.

Para analisar a tomografia, o operador precisa ter um bom conhecimento técnico das espécies analisadas e de acordo com a sua variabilidade, determina-se o seu crescimento, sua impedância típica e umidade, que varia também de acordo com a época do ano. A deterioração pode se espalhar pelas árvores, acima de tudo na vertical. Infecções por fungos podem ser observados em diferentes níveis em diferentes gravidades.

3.3.2.4. Ensaio utilizando o resistógrafo

O resistógrafo é um equipamento que permite detectar graficamente imperfeições na madeira, através da variação da resistência da broca ao perfurá-la. Foi desenvolvido na Alemanha com a finalidade de executar análises em condições de campo do lenho das árvores, postes e estruturas de madeira.

A detecção é realizada através de uma furadeira, uma impressora de gráficos e gerador de gráficos digital que permite a comunicação com um computador através da porta *USB* e de um *Bluetooth*, conforme demonstrado na Figura 3.23.



Figura 3.23. Utilização do resistógrafo em poste de madeira

Fonte: IML (2010).

O sistema IML utiliza uma furadeira que perfura a madeira a uma velocidade constante com uma broca de 1,5 mm a 3 mm para estabelecer uma relação com a resistência que apresenta a madeira na passagem da broca. Estas brocas são pequenas evitando deteriorar a madeira. Essas variações de resistências são representadas graficamente em papel através de uma agulha graficadora ligada mecanicamente ao extremo da broca e, além disso, o sistema conta com um dispositivo digital que armazena os registros efetuados, que posteriormente é descarregado para o computador.

O perfil obtido da peça obtido permite detectar zonas da madeira com variações anormais de densidade, devido a descontinuidades físicas tais como fendas, ou, como resultado de degradação biológica, por exemplo, pela ação de fungos. Saliente-se que a utilização desse aparelho é considerada não destrutiva, na medida em que somente provoca furos de pequeno diâmetro, facilmente tapados com uma cola epóxi, o que não reduz a resistência dos elementos de madeira inspecionados.

A geometria da broca elimina o efeito de atrito; o diâmetro do eixo é de 1-1,5mm e o comprimento máximo é de 1.500 mm. A resistência da broca concentra-se na ponta porque sua largura é o dobro da largura do eixo (2 a 3 mm). O dispositivo contém dois motores, um para a alimentação constante, outro para a rotação da agulha.

Rinn et al. (1996) relataram que os perfis resistográficos correlacionam-se com a densidade da madeira, definida através do perfil de densidade do ensaio com a utilização do raios-X.

Por outro lado, esse método fornece informações sobre a conservação dos elementos estruturais e indiretamente, sobre a sua capacidade estrutural. Algumas

vantagens do método são a fácil interpretação gráfica, a simplicidade de armazenar dados, de transporte do equipamento e de execução dos testes. Alguns estudos revelam limitações desse método, relacionando as dificuldades de se realizar ensaios, dada a posição do elemento - dificuldade em posicionar o dispositivo perpendicular a ele -, o próprio procedimento de teste requer o uso de ambas as mãos. Assim, o método resistográfico pode ser melhor usado conjuntamente com métodos e ensaios NDE que forneça uma avaliação qualitativa.

Salienta-se que o teor de umidade da madeira tem uma grande influência nos valores de densidade. Por exemplo, a resistência à penetração diminui com o aumento do teor de umidade (Machado e Cruz. 1997 apud Feio, 2005).

Alguns autores, como Isik e Li (2004), relatam uma correlação fraca entre a resistência à micro perfuração e a densidade da madeira ($r^2 \approx 0,21-0,69$), o que mostra que esse método ainda não está suficientemente desenvolvido para o uso na avaliação quantitativa *in situ*.

3.3.2.5. Ensaios utilizando Pilodyn

Conforme Feio (2005), existe outro equipamento comercial, o Pilodyn, proposto originalmente para determinar a densidade e a resistência de elementos de madeira degradados e sadios. Diversos tipos de defeitos, no entanto, podem ser detectados rápida e objetivamente através de um simples ensaio não destrutivo: utilizando-se esse equipamento, ou o associando à redução de resistência à penetração da ponteira.

Outras situações em que esse aparelho pode ser utilizado incluem a determinação prévia do aparecimento de doenças, através de uma medição periódica, estabelecimento de parâmetros de produtividade, no que tange à densidade da madeira entre diversas espécies ou o estabelecimento de classes e categorias de resistência entre diversos tipos de madeira.

O efeito do teste é tão rápido que os elementos ou corpos de prova ensaiados continuam sem danos relevantes, sendo o teste, por isso, considerado não destrutivo. No entanto, somente a dureza ou a resistência superficial são medidas, o que representa uma desvantagem ao equipamento.

A Figura 3.24 apresenta um modelo do equipamento em questão em funcionamento. Esses dispositivos possuem um pino metálico com 2,5mm de diâmetro, que penetra na madeira através da liberação de uma mola que transforma a energia potencial elástica em energia de impacto. Este impacto dinâmico é responsável pela penetração do pino na superfície dos corpos de prova, permitindo, assim, registrar a profundidade penetrada.



Figura3.24.Pilodyn 6J

Fonte: Feio (2005).

3.3.2.6. Ensaio utilizando equipamento higrodensimétrico

Além dos equipamentos citados anteriormente, há um dispositivo desenvolvido na Suíça, que é objeto desse estudo. Sua denominação comercial é Polux® e está apresentado na Figura 3.25. O dispositivo, segundo Benoit (2010), é um equipamento comercial que se baseia na introdução de um par de eletrodos metálicos, com sensores higroscópicos e uma célula de carga. O primeiro sensor atua mensurando o valor da resistividade elétrica encontrada na madeira; o segundo, na força de penetração dos eletrodos, resultando o cálculo da densidade da madeira.

Estudos dos dados das características dos postes de madeira em serviço são significativamente complexos e menos desenvolvidos (Benoit, 2004). Isto faz com os processos de manutenção sejam mais caros e mais prematuros, além de que, em alguns casos, ocasione um retrabalho inútil, podendo trazer graves consequências para segurança da rede e das pessoas.

Para conhecer os dados estatísticos das inspeções de campo nos postes de madeira, é necessária uma grande quantidade de informações, principalmente sobre suas propriedades mecânicas residuais.



Figura3.25.Polux ® testando poste de madeira *in situ*

A melhor maneira de verificar o desempenho do material é fazer o ajuste com os testes mecânicos de flexão de tensões residuais nos postes retirados da rede da concessionária.

O maior problema dos ensaios de flexão é o custo dispendido nos testes, pois é necessário fazer a identificação, o transporte para o campo de prova, além do custo de retirada e substituição do poste na rede. Esses aspectos limitam o número de amostras para validação da modelagem matemática. Por isso, a importância de estudar um método não destrutivo para inspeção dos postes em serviços, mensurando *in situ* suas características mecânicas.

Apesar de que, para os estudos, é necessária a coleta de alguns postes para realizar o ensaio de flexão e, então, validar o processo de calibração do equipamento, definindo assim, o coeficiente de correlação das medições do equipamento com as medidas previsíveis no ensaio de flexão.

Conforme comentado anteriormente, o objetivo desse trabalho é a partir das informações processadas pelo equipamento, validar sua utilização para os postes de eucalipto fabricados no Brasil; assunto abordado nos itens metodologia e resultados.

3.4. Técnica da Inspeção higrodensimétrica

O equipamento Polux® foi desenvolvido e aperfeiçoado no Laboratório de Madeira da *École Polytechnique Fédérale de Lausane* (EPFL, Suíça). Seu princípio básico, conforme descrito anteriormente está na medição da densidade e umidade interna da madeira. Processo denominado por Benoit (2004) de tecnologia *higrodensitométrica*.

O resultado dado pelo dispositivo abrange dois aspectos: o primeiro de segurança, que prevê como resultado a estimativa do módulo de flexão residual, e o segundo na manutenção, cujo resultado reflete a atividade biológica do poste de madeira, determinando seu tempo de vida útil.

Desta forma, o índice de segurança do poste é obtido através da diferença entre os limites estabelecidos pela norma Suíça e os resultados obtidos através da medição não destrutiva. Assim, o equipamento em questão estima uma nova inspeção a ser efetuada a cada 8, 5 ou 3 anos, ou orienta pela substituição imediata, quando o desempenho das propriedades mecânicas estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma. A Tabela 3.10 mostra a classificação realizada por Benoit (2003) para a indicação luminosa do aparelho.

Tabela 3.10. Classificação dos postes testados com Polux® pelo fabricante na Europa.

Cor do indicador	Faixa de MOR _{RES} (N/mm ²)	Comentários
V	MOR _{RES} > 28	Poste bom, com 1% de probabilidade de causar risco de segurança. Podem ser reinspecionados em até 10 anos.
VC	23 < MOR _{RES} ≤ 28	Poste bom. Com 80% acima de 18,3 N/mm ² . Podem ser reinspecionados em até 5 anos.
RC	18,3 < MOR _{RES} ≤ 23	Poste enfraquecido, porém com resistência residual à flexão acima do especificado em Norma. A escalada necessita de atenção. Podem ser reinspecionados em até 3 anos.
R	MOR _{RES} < 18,3	Poste fraco, não deve ser escalado. Substituição imediata.

Adaptação: Benoit (2003)

O dispositivo de medição é fixado no poste, na linha do engastamento por duas razões essenciais. Observando pelo ponto de vista mecânico, esta é a área mais vulnerável do poste e corresponde ao ponto de maior esforço mecânico pela tração dos cabos, estruturas e, principalmente, pela ação do vento. Do ponto de vista biológico, pode-se dizer que é a região com maior propensão para o desenvolvimento de fungos de apodrecimento da madeira, sinalizada pela presença de oxigênio e umidade no solo.

Na Figura 3.26 observa-se o painel frontal do equipamento com os indicadores luminosos de manutenção e segurança sinalizados.



Figura 3.26. Painel Frontal do Polux®, com a indicação dos aspectos de segurança e manutenção

A expressão que resulta na degradação natural da madeira está explícita na Equação 3.4, cuja combinação de oxigênio, umidade favorece a proliferação de fungos resultando na deterioração da madeira.



Duas variáveis são registradas na medição com o aparelho, e apresentam o diagnóstico de manutenção e segurança, de acordo com a medição da densidade e umidade interna do poste analisado.

A densidade é medida por dois eletrodos de pequeno diâmetro, 3 milímetros, que penetram aproximadamente 40 mm dentro do poste. Esses eletrodos são conectados a uma célula de carga, para medição da força de compressão F , quando da sua penetração no poste de madeira. O resultado é correlacionado à densidade da madeira encontrada no poste, representando o módulo de tensão de flexão

residual. A Figura 3.27 mostra o equipamento em campo, realizando o teste no poste de madeira.

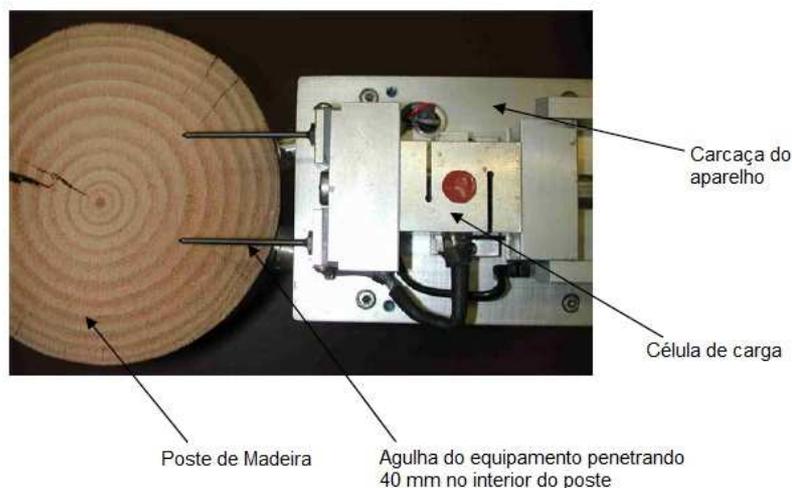


Figura 3.27. Vista em corte da aplicação do Polux® em poste de madeira
Adaptação: Benoit, (2004).

O teor de umidade (H%), por sua vez, é obtido quando os eletrodos no interior do poste medem a resistividade de madeira, que é atravessada por uma pequena corrente elétrica emitida entre os eletrodos. O tipo de preservante utilizado na madeira é uma variável que deve ser levada em consideração nos parâmetros do modelo matemático, tendo em vista suas características, pois, para o creosoto - um componente à base de petróleo e hidrofóbico -, aumenta a resistividade da madeira; o CCA, formado basicamente de sais, favorece a condutividade elétrica.

No campo, há algumas formas de instalação do equipamento. É muito comum encontrar objetos obstruindo os postes, como por exemplo, lixeiras e postes entalados, que são postes instalados ao lado do poste original, até mesmo entulhos depositados pela comunidade, dificultando a instalação do equipamento.

Duas medidas em lados opostos, na linha do engastamento, são necessárias para fornecer o resultado geral do poste, tanto para o diagnóstico de segurança quanto de manutenção (Benoit, 2004). Nota-se, no entanto, que o local de medição depende sempre do pior caso detectado pelo usuário.

A Figura 3.28 resume alguns casos encontrados em campo e o posicionamento do equipamento no momento do teste. Conforme Benoit (2004), para validar o equipamento Polux®, foram realizadas inspeções nos postes de madeira instalados nas redes elétricas e de telecomunicações na Suíça, França, Áustria, América do Norte, Brasil e Austrália. As espécies de madeira testadas são

do tipo *Sapin*, *Epicéa*, *Lodge Pine*, *Janck Pine*, *Pinus*, *Pinus Red*, *Pine Yellow*, *Western Red Cedar*, *Southern Pine*, *Spruce*, *Douglas Fir* e *Eucalyptus*.

Os resultados obtidos na avaliação não destrutiva, realizada com o Polux®, foram validados por intermédio de testes destrutivos, com análise dos ensaios de flexão e serão apresentadas no capítulo 5.

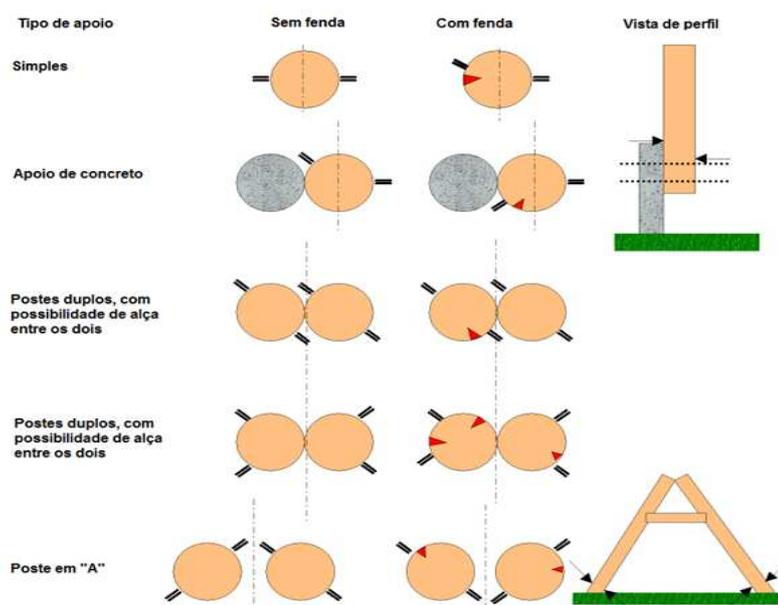


Figura 3.28. Posicionamento do Polux® para medição do poste de serviço
Adaptação Benoit (2004).

3.4.1. Modelo para calibração da avaliação não destrutiva

A avaliação não destrutiva em questão baseia-se em dois parâmetros fundamentais da densidade da madeira, expressos por F (força de compressão à penetração das agulhas de 40 milímetros no interior do poste) e o teor de umidade no interior do poste, expressa por $H\%$ (Benoit, 2004).

O valor procurado para a resistência mecânica à tração na flexão residual do poste, MOR_{res} , é definida pela equação (3.5):

$$MOR_{res} = \alpha.F + \beta.H\% + \varepsilon \quad (3.5)$$

Onde:

MOR_{res} : Módulo de resistência residual do poste de madeira em serviço [N/mm^2]

F e $H\%$ - Variáveis físicas medidas com a avaliação não destrutiva

α , β e ε - Parâmetros de calibração do modelo.

Este modelo de calibração com duas variáveis foi aplicado nos postes de madeira em serviço utilizados pelas empresas de energia e telecomunicação da Europa. Como exemplo da aplicação do equipamento, Benoit (2004) realizou vários testes em países europeus. A título de exemplificação, pode-se citar o ensaio em 79 postes da espécie Sapin-Epicéa, tratado com CCA, utilizado na rede de telefone da empresa *France Télécom*.

Os ensaios destrutivos foram realizados em *Lausanne* na Suíça, no laboratório da EPFL. A Figura 3.29 apresenta a comparação entre os resultados obtidos nas inspeções com o Polux® e os testes destrutivos de flexão.

Para Benoit (2004), o resultado do coeficiente de determinação $r^2 = 0,6852$, para os postes da *France Télécom* apresenta-se dentro da normalidade para a região.

Para outros países, devido a tipos diferentes de madeira e de condições climáticas, é necessário aplicar outro tipo de equação matemática.

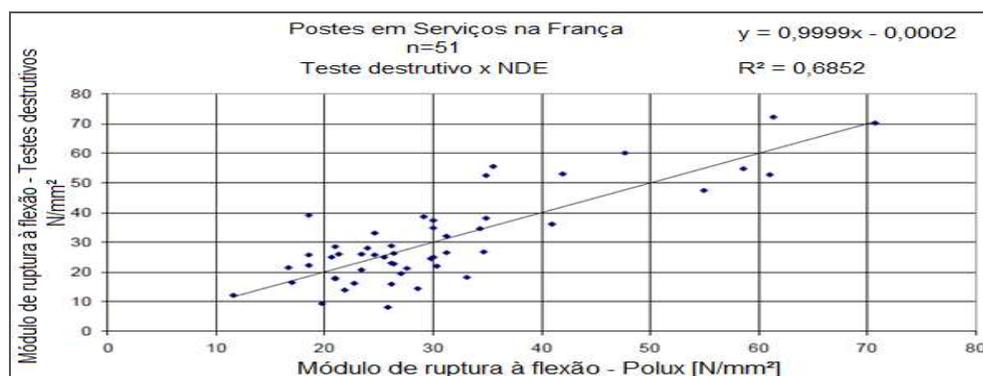


Figura 3.29. Correlação dos dados do Polux ® com os dados dos testes de flexão, nos postes retirados da rede de telefone da empresa *France Télécom*

Fonte: Benoit (2004).

No caso dos Estados Unidos e Canadá, foi desenvolvido um modelo matemático próprio para as espécies encontradas nesses locais, as quais são produzidas especialmente para postes de madeiras. É o caso das espécies *WestenRed Cedar*, *Southern Yellow Pine*, *Red Pine* e *Jack Pine*. Na Tabela 3.11, Benoit (2004) apresenta a quantidade de postes que foram testados no Canadá, segmentando-os por espécie e tipo de preservante.

Tabela 3.11 Madeira testada no Canadá com o Polux ® e validado com ensaios de flexão

Espécie	Quantidade	Tratamento
Cedro vermelho	39	Creosoto e pentaclorafenol
Pinho amarelo	18	Pentaclorafenol (PCP)
Pinho vermelho	26	Pentaclorafenol (PCP)
Pinheiro	32	Pentaclorafenol (PCP)
Total	115	

Fonte: Benoit (2004).

A Figura 3.30 apresenta o gráfico com os resultados da correlação do Polux ® com os ensaios de flexão dos postes testados na América do Norte.

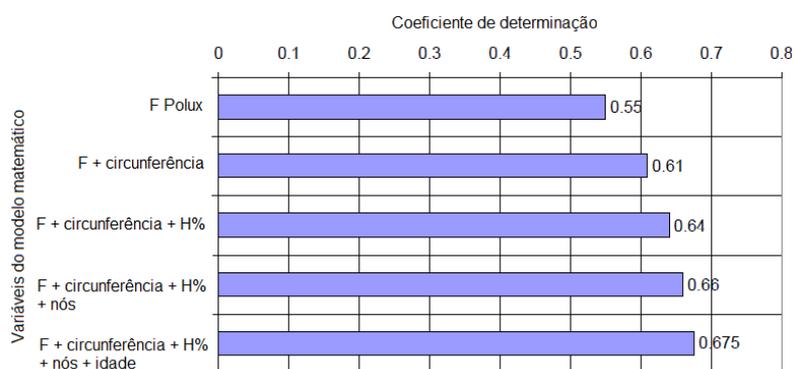


Figura 3.30. Testes não destrutivos e de flexão aplicados nos postes na América do Norte

Fonte: Benoit (2004).

De acordo com o modelo da equação (3.5), o coeficiente de determinação obtido nesta amostragem é $r^2 = 0,55$. Para superar essa diferença no tamanho e melhorar a correlação, foi proposto pelo autor, incorporar parâmetros adicionais para chegar ao modelo multivariado expressa pela equação (3.6). Esses parâmetros adicionais que são a circunferência, o número de nós e da idade do poste variam o coeficiente de determinação, de forma significativa, como apresentado na Figura 3.30.

A evolução do coeficiente de determinação r^2 expressa a correlação entre os testes de flexão e avaliação não destrutiva realizada com o Polux® para as coníferas, na América do Norte, tratados com creosoto ou PCP. A análise efetuada utilizou as variáveis F e H% para compor o modelo matemático do método não destrutivo.

$$MOR_{RES} = \alpha.F + \beta.H\% + \gamma.C + \delta.N + \lambda.A + \varepsilon \quad (3.6)$$

Onde:

MOR_{res} : Módulo de resistência residual do poste de madeira em serviço [N/mm²]

F e H%: Variáveis físicas medidas com a avaliação não destrutiva, F indica a esforço do poste (daN) e H% a umidade interna do poste [%]

C: A circunferência do poste na linha do solo [cm]

A: Idade do poste [ano]

α , β , γ , λ e ε – Parâmetros de calibração do modelo.

Benoit (2004), após definição da modelagem matemática para o equipamento, esteve em diversos locais testando postes. Na Europa foram 311 unidades, 115 na América do Norte e 33 na Austrália, com a finalidade de validar o ensaio não destrutivo realizado com o dispositivo higrodensimétrico.

Os resultados encontrados nestas amostragens permitiu-lhe concluir que o uso da avaliação não destrutiva empregada nos testes é confiável. Uma vez que, com o modelo de duas variáveis foi possível alcançar a correlação entre o teste de flexão e o equipamento de teste não destrutivo, com fator r^2 igual a 0,71 para as madeiras europeias.

Na América do Norte, onde um modelo multivariado é o recomendável, levou-se em consideração que, além de variáveis, parâmetros como a diâmetro do poste e a idade, indicam a confiabilidade do sistema com coeficiente de determinação r^2 igual a 0,675. Segundo Benoit (2004), é possível que ao se comparar os resultados desses testes realizados com o Polux ® aos resultados com estudos anteriores sobre o continente americano pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*), confirmando a eficácia dessa avaliação não destrutiva.

3.4.2. Inspeção com dispositivo higrodensimétrico nos postes de madeira da Suíça

Nesta campanha foram inspecionados 38.922 postes de madeira instalados na rede de distribuição de energia elétrica da empresa pública da Suíça. As espécies estudadas receberam tratamento preservante a base de CCB e são das espécies *Sapin* e *Epicéa*.

A Figura 3.31 mostra a distribuição estatística das tensões residuais de flexão, avaliada pelo método não destrutivo, além de apresentar os resultados muito semelhantes aos valores obtidos na rede de telefonia da Suíça, a *Swisscom*, foi obtida da distribuição normal com média de 26,9 N/mm² e desvio padrão igual a 6,34 N/mm².

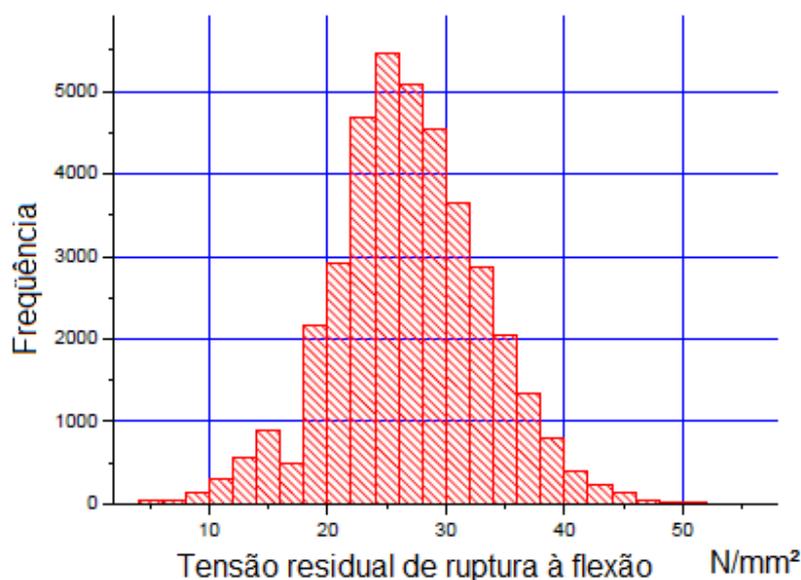


Figura 3.31. Distribuição dos postes de madeira da rede elétrica da Suíça, de acordo com a existência de ruptura à flexão. Fonte: Benoit (2004).

Na tabela 3.12 tem-se um resumo de todas as espécies de madeira utilizada em poste de rede elétrica e de telecomunicação na Europa, Brasil, Estados Unidos e Canadá, testadas com o equipamento hidrodensimétrico.

Tabela 3.12. Resumo geral das espécies de madeira testadas com Polux ®

Campanha	Qtde. postes	Espécie	Média de idade (anos)	Média MOR _{res} (N/mm ²)	Desvio Padrão (N/mm ²)	Preservante
Suíça (<i>Swisscom</i>)	2.187	<i>Sapin-Epicéa</i>	24,0	26,4	6,27	CCB
Suíça (rede elétrica)	38.922	<i>Sapin-Epicéa</i>	24,9	26,9	6,34	CCB
América do Norte	919	<i>Lodge Pine</i>	32,5	23,1	6,11	Pentaclorafenol
América do Norte	4.618	<i>Jack Pine</i>	35,47	23,6	5,96	Pentaclorafenol
América do Norte	13.054	<i>Western Red Cedar</i>	39,53	16,9	5,59	Pentaclorafenol
América do Norte	607	<i>Southern Pine</i>	36,04	33,6	7,1	Pentaclorafenol
América do Norte	356	<i>Spruce</i>	37,27	21,9	9,16	Pentaclorafenol
América do Norte	1.632	<i>Red Pine</i>	30,33	23,8	6,15	Pentaclorafenol
América do Norte	324	<i>Douglas Fir</i>	45,57	27,2	6,27	Pentaclorafenol
Brasil	188	<i>Eucalyptus</i>	15-20	41,5	15,5	Creosoto e CCA
Total	62.807					

Adaptação: Benoit (2004).

Benoit (2004) apresenta os resultados dos testes não destrutivos realizados com o aparelho Polux®, referente à média do módulo de ruptura de cada espécie testada, bem como o desvio-padrão, a média de idade e o tipo de preservante utilizado no tratamento do poste de madeira. Observa-se que apesar da pequena amostra testada no Brasil, o módulo de ruptura calculado pelo dispositivo chega ser superior a 65% se comparado as demais espécies testadas com o mesmo equipamento, porém sem a confirmação dos testes de flexão.

3.4.3. Validação do dispositivo higrodensimétrico no Brasil

No Brasil, em 2001, foram realizadas 188 inspeções com o aparelho de teste higrodensimétrico, em postes em serviço na rede da concessionária AES Sul. Os resultados são apresentados na Figura 3.32..

Neste caso, Benoit (2004), cita que a distribuição estatística do Módulo de resistência dos postes em serviço Mor_{res} corresponde a uma curva normal. Tendo como parâmetros da distribuição normal, os valores médio de $41,5 \text{ N/mm}^2$ e desvio-padrão de $15,5 \text{ N/mm}^2$.

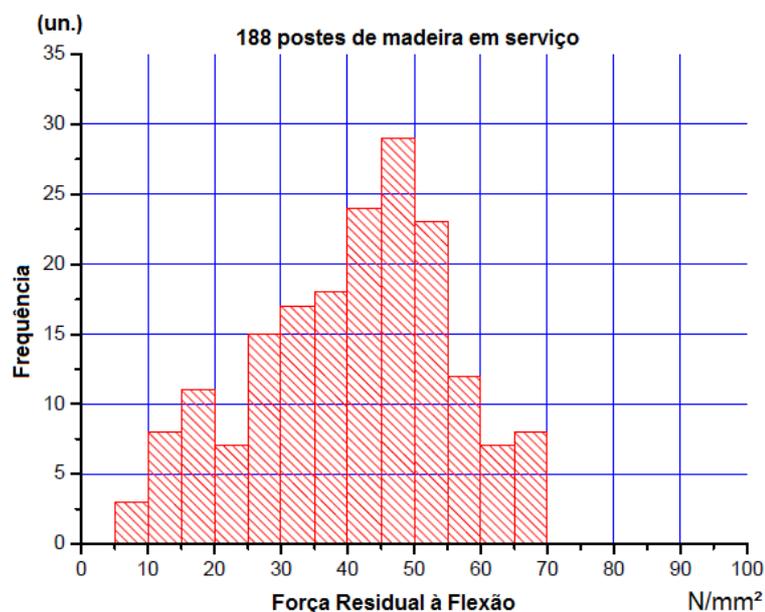


Figura 3.32. Distribuição dos 188 postes de madeira, conforme o módulo de flexão residual obtido nas inspeções não destrutivas

Fonte: Benoit (2004).

No entanto, cabe ressaltar que o número de amostras nessa campanha de medição é menor que o de campanhas realizadas na Europa e América do Norte. Entretanto, a tendência segue os resultados obtidos para as redes descritas na Suíça e América do Norte. Dessa forma, mesmo que seja necessária uma exploração maior das espécies de madeira, o resultado é similar, independentemente do ambiente ou dos processos estudados (Benoit, 2004).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado na área de concessão da empresa AES Sul, onde foram inspecionados 467 postes de eucalipto em serviço, distribuídos nos municípios destacados na Figura 4.1.

Conforme Arruda (2006), a rede elétrica na área de concessão da AES Sul possui uma variação significativa entre as espécies de eucalipto, principalmente entre os *Eucalyptus Saligna*, *E. Grandis* e *C. Citriodora*. Entretanto, a empresa salienta em seus procedimentos (AES Sul, 2008) que sejam utilizadas as espécies, *E. saligna* para as redes de Distribuição e o *C. Citriodora* para redes de Transmissão, não sendo aceita a espécie *Eucalyptus Grandis* em nenhum dos casos.

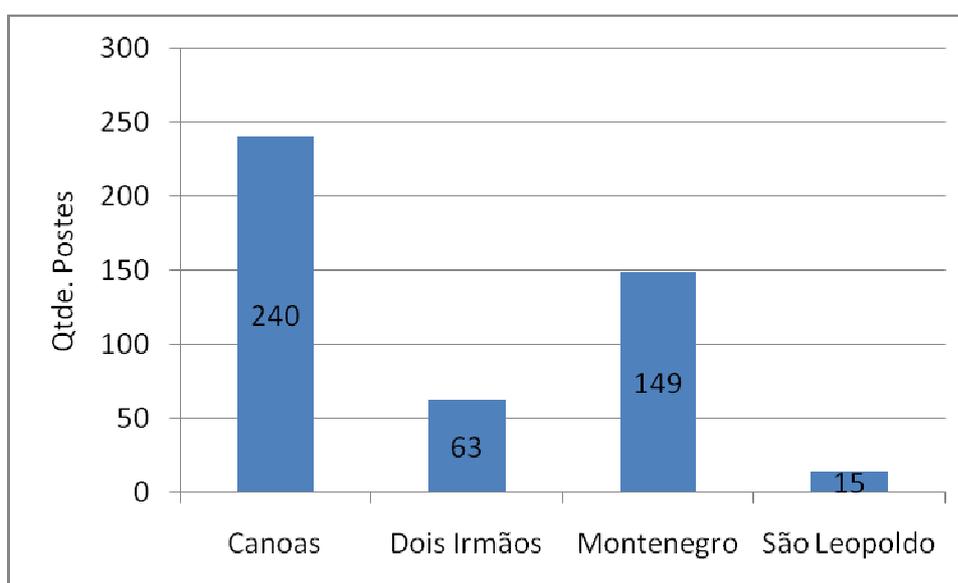


Figura 4.1. Quantidade de postes inspecionados com o dispositivo higrodensimétrico por município

A Figura 4.2 apresenta a quantidade de postes inspecionados com seus respectivos comprimentos. Preferiu-se trabalhar com postes de 9 metros, em função dos impactos que os desligamentos poderiam causar nos indicadores de continuidade da empresa, para retirá-los da rede. Foram inspecionados 69% dos

postes de madeira de 9 metros, 26% de 11 metros, 3% de 10 metros e 1% de 12 metros.

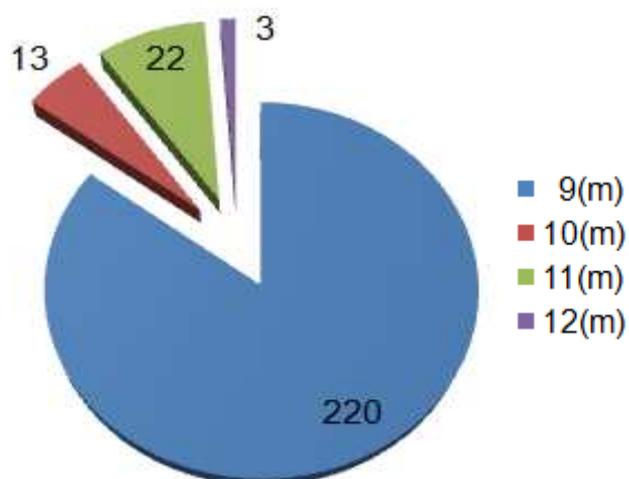


Figura 4.2. Quantidade de postes testados com o aparelho hidrodensimétrico, relacionados ao seu comprimento

No total dos 467 postes de madeira inspecionados, 351 deles foram inspecionados concomitantemente utilizando as técnicas da inspeção tradicional e hidrodensimétrico, 40 postes foram submetidos a ensaios com ultrassom e hidrodensimétrico e 76 postes a ensaio hidrodensimétrico e de flexão à ruptura. Esta distribuição é mostrada na Figura 4.3.

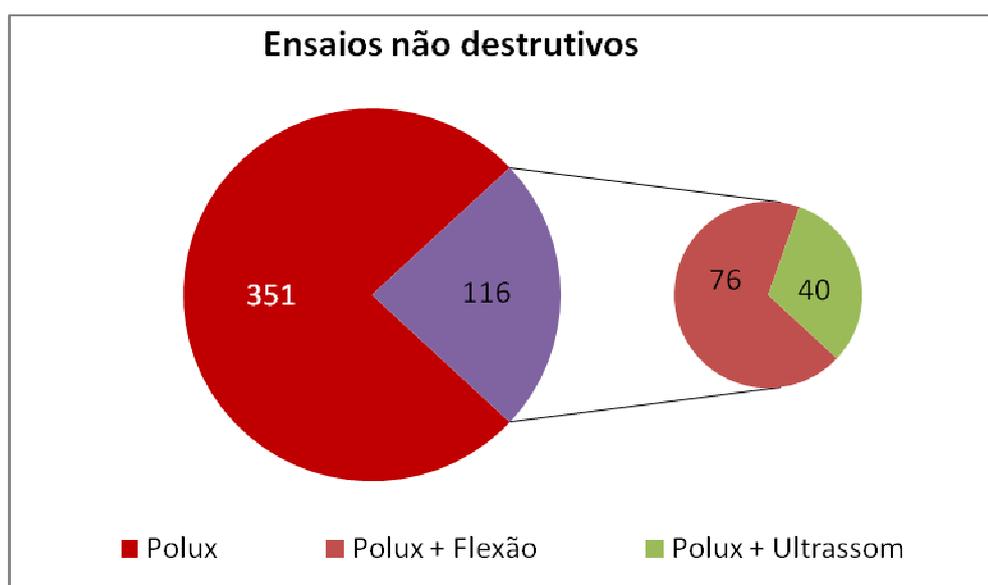


Figura 4.3. Quantidades de postes avaliados com ensaios não destrutivos.

A Figura 4.4 apresenta o esquema do processo de inspeção realizada em campo, que será descrito com as técnicas utilizadas – tradicional, higrodensimétrica, ultrassom e testes de resistência à flexão.



Figura 4.4. Fluxograma do processo de inspeção e teste de flexão à resistência de ruptura

O teste de flexão é realizado como referência na validação dos dados obtidos nas inspeções tradicionais, higródensimétrica e ultrassom.

4.1. Área de atuação

Os postes selecionados nesse estudo fazem parte da rede de distribuição da AES Sul e estão em maior concentração nos municípios de Canoas e Montenegro. Isso se deve ao fato de que na fase I do projeto, alguns postes foram testados utilizando as mesmas técnicas: em Canoas a inspeção tradicional e em Montenegro o uso do dispositivo Polux® (Vidor, 2003).

Na fase I, foram inspecionados 503 postes nesses municípios, sendo 316 em Canoas e 187 em Montenegro. No presente trabalho foi possível reinspecionar 146 desses postes, sendo 81 postes em Canoas (26%) e 65 em Montenegro (35%). Na Figura 4.5, uma visão geográfica da área da regional Metropolitana com seus municípios com destaques para os que foram contemplados com as inspeções de campo. Pode-se notar que além de Canoas e Montenegro, também estão incluídos as cidades de São Leopoldo e Dois Irmãos, embora as inspeções tenham sido realizadas em um número menor de postes.

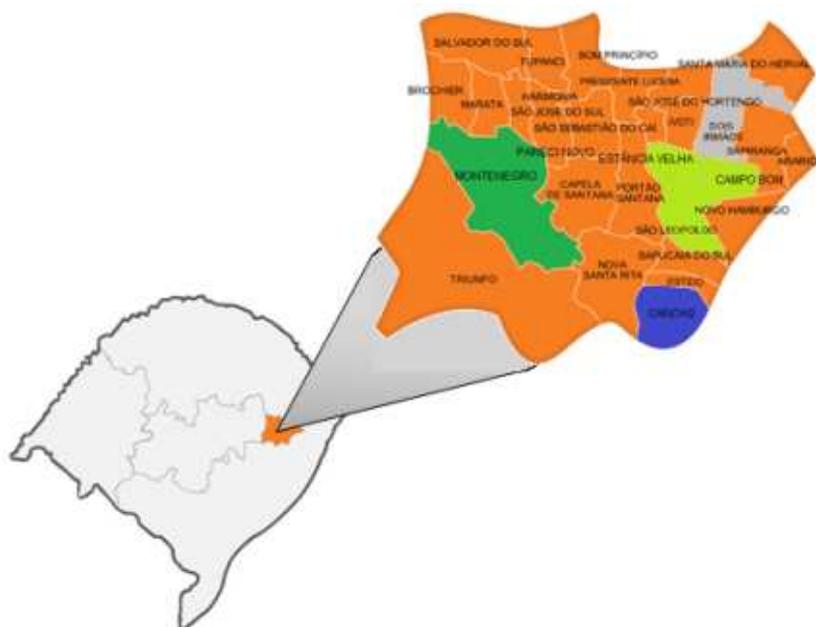


Figura 4.5. Área de concessão da AES Sul, com destaque para região Metropolitana e municípios de Canoas, Montenegro, São Leopoldo e Dois Irmãos.

Adaptação: AES Sul (2010).

Como comentado anteriormente, deu-se preferência aos circuitos de baixa tensão (BT) pelas razões já mencionadas. Em Canoas as inspeções foram distribuídas nos bairros Igara, Mathias Velho, São Luís e Niterói, conforme Figura 4.6.

Em Montenegro, foram realizadas inspeções nos circuitos de BT nos bairros Municipal, Industrial, Fortaleza e São João. Em Canoas, as inspeções foram acompanhadas por técnicos da AES Sul, que receberam treinamento de operação do equipamento.



Figura 4.6. Esquema da rede elétrica da AES Sul, bairro Mathias Velho, circuito CAN - 1075

Fonte: AES Sul (2011).

4.2. Inspeção Tradicional

A inspeção tradicional consiste na verificação do poste de madeira em serviço realizada pela equipe de campo, cujas atividades são descritas conforme a Figura 4.7.

A primeira etapa é a inspeção visual do poste de madeira. Realizam-se a varredura da linha do afloramento até o topo do poste em torno da sua circunferência, além da escavação na sua base. Isso para buscar sinais de

apodrecimentos, perfurações causadas por aves ou situações que possam comprometer a segurança da rede e da população na sua intermediação.

Após essa etapa, verifica-se o estado físico da madeira interna do poste utilizando-se de um martelo *ponta e pá*, o qual é batido no poste da linha do solo até uma altura que o operador consegue alcançar sem comprometer a sua segurança. Com o choque do instrumento no poste é emitido um sinal acústico, que pela própria experiência do inspetor, é possível detectar se internamente há um vazio ou um maciço.



Figura 4.7. Etapas: (A) Verificação do apodrecimento externo; (B): Análise da parte interna através de percussão; (C): Identificação dos postes para coleta; (D) Verificação do apodrecimento interno; (E): Retratamento

Fonte: Vidor (2003).

Finalizada a etapa de percussão, com o uso de uma motofuradeira e uma broca de 12 mm x 400 mm efetua-se um furo na base do poste para coleta, com uma escala graduada, e identificação da madeira do interior do poste. Nessa etapa, os postes definidos para retratamento receberam três bastonetes (*Polesaver Rod*, Prechem Australia) de preservativo de Boro/Flúor, conforme utilizado por Vidor (2003).

A Figura 4.8 mostra o esquema do processo de verificação da madeira no interior do poste; à medida que se insere a escala graduada neste, é possível detectar a quantidade de madeira sadia existente em seu interior, pois a escala vai até o final do furo e, quando retorna, é preciso pressioná-la contra a parte superior

Na inspeção tradicional estabeleceu-se um padrão de classificação para o poste de madeira considerando seu aspecto físico e a deterioração da madeira que o compõem, conforme Tabela 4.2, elaborada por Vidor (2011).

Tabela 4.2. Classificação do poste de madeira de eucalipto na inspeção tradicional.

Inspeção		Classificação	Tomada de Decisão	
Interna	Externa		Estado do Poste	Procedimento
> 100 mm madeira sadia	Sem apodrecimento	Classe 1	Poste sadio	Nenhum
70 - 100 mm madeira sadia	Máx. 10 mm madeira podre	Classe 2	Início de apodrecimento	Retratar interno/externo
30 - 70 mm madeira sadia	Máx. 20 mm madeira podre	Classe 3	Apodrecimento avançado	Programar substituição
< 30 mm madeira sadia	> 20 mm madeira podre	Classe 4	Poste comprometido	Substituir imediatamente

Fonte: Vidor (2011)

4.3. Inspeção com dispositivo higrodensimétrico

Concluída a inspeção tradicional, iniciam-se a preparação do equipamento de dispositivo higrodensimétrico para fazer o teste não destrutivo no poste de madeira.

Nesta etapa foi utilizado o equipamento Polux ® e seus acessórios de fixação – catraca e cinta -, apresentados na Figura 4.9.

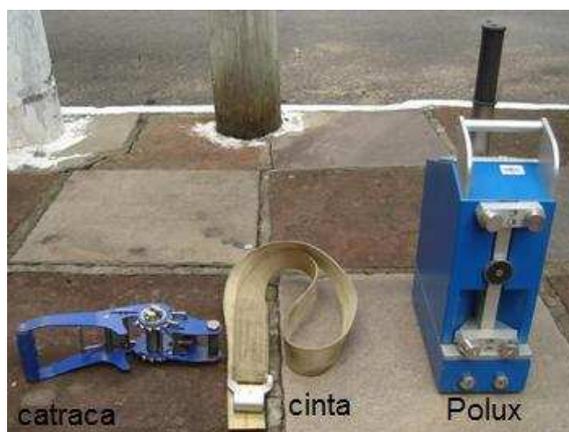


Figura 4.9. Polux ® e acessórios

Primeiro deve-se instalar a cinta no aparelho e na catraca, de forma a permitir a adequada instalação no poste, sempre na linha do engastamento, conforme Figura 4.10.



Figura 4.10. Fixação do equipamento no poste de madeira

Uma vez instalado o equipamento no poste, seguiu-se os seguintes passos: ligou-se o dispositivo, através da tecla ON, informou-se o número do poste (incrementando a posição com tecla 3 e alterando a unidade com a tecla 4), depois informou-se o número do programa (posicionando o cursor através da tecla 3, sendo 0 para creosoto e 2 para CCA).

Na Figura 4.11 são mostradas as teclas de interação com o Polux ® para inserir os parâmetros de medição;



Figura 4.11. Teclas de interação do Polux ®

Certificou-se que a alavanca telescópica estava em sua posição original, que é totalmente fechada e perpendicular ao solo, conforme Figura 4.12;

Com a aceitação dos parâmetros de entrada, iniciou-se o movimento com a alavanca telescópica para cima, o máximo permitido e depois para baixo, formando um ângulo próximo de 45° com a linha de solo. Desta forma, as agulhas penetraram no poste de madeira.



Figura 4.12. Polux ® em medição de poste de madeira

Uma vez inseridas as agulhas no interior do poste, aguardou-se o processamento da primeira medição e retornou a alavanca à sua posição original.

Para segunda medição, instalou-se o dispositivo na outra face do poste (180° da medida anterior) e procedeu-se igualmente a primeira leitura.

Uma vez que os resultados da segunda medição foram indicados, movimentou-se a alavanca à sua posição original.

No final o dispositivo indicou o resultado final das duas medições, através dos indicadores luminosos, conforme Figura 4.13.



Figura 4.13. Polux ® indicando a leitura realizada

Na inspeção higrodensimétrica, utilizou-se a planilha do Excel da Tabela 4.3, proposta pelo trabalho, para inserir os dados do poste avaliado, incluindo as informações da inspeção tradicional e resultados do equipamento de teste.

Tabela 4.4. Tabela dos resultados emitidos pelo Polux® após a inspeção

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Date	Nº Poste Polux	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
2	16/09/2009	1	0	203	88	66	617	V	VC	155	72	89	450	V	VC	V	VC
3	16/09/2009	2	0	107	85	71	324	V	VC	83	111	35	288	V	V	V	VC
4	02/10/2009	10	2	151	115	34	33362	V	V	117	153	29	25712	VC	VC	V	V
5	16/10/2009	10	2	73	37	140	15812	R	R	14	25	157	2537	R	R	R	R
6	02/10/2009	11	2	170	105	42	37637	V	V	149	85	71	32912	V	V	V	V
7	16/10/2009	21	2	225	37	140	50012	V	V	168	40	136	37187	V	V	V	V
8	16/10/2009	23	2	162	20	165	35837	V	V	179	66	98	39662	V	V	V	V
9	16/10/2009	24	2	99	48	124	21662	RC	RC	94	56	113	20537	RC	RC	RC	RC
10	16/10/2009	26	2	114	77	82	25037	VC	VC	119	59	108	26162	VC	V	VC	VC
11	16/10/2009	27	2	227	68	95	50462	V	V	254	66	98	56537	V	V	V	V
12	16/10/2009	28	2	173	82	75	38312	V	V	233	78	81	51812	V	V	V	V
13	16/10/2009	29	2	254	41	134	56537	V	V	254	34	144	56537	V	V	V	V
14	16/10/2009	30	2	254	53	117	56537	V	V	251	58	110	55862	V	V	V	V
15	16/10/2009	31	2	254	53	117	56537	V	V	254	59	108	56537	V	V	V	V
16	16/10/2009	35	2	218	27	154	48437	V	V	254	25	157	56537	V	V	V	V
17	16/10/2009	36	2	254	44	130	56537	V	V	254	59	108	56537	V	V	V	V
18	16/10/2009	37	2	68	18	167	14687	R	R	154	46	127	34037	V	V	R	R

O dispositivo, além de armazenar os dados coletados, informa o operador, no momento da medição, através dos indicadores luminosos (painel frontal do equipamento) o estado de conservação dos postes com a combinação de 4 estágios. Os indicadores podem ser vermelhos, quando não há mais condições de sustentação da estrutura: o poste está comprometido e sem segurança para continuar instalado na rede. Outra situação é quando o poste apresenta um coeficiente de segurança baixo, com valores entre 1,1 e 1,3 do valor projetado. Neste caso, a cor informada é vermelha, porém o indicador fica piscante. Tem-se também o indicador verde piscante, cujos valores estão entre 1,3 e 1,8 do valor prospectado e por último, indica somente verde quando os valores estão acima de 80% do valor projetado.

Como não é possível determinar em campo a espécie de eucalipto do poste em serviço, considerou-se apenas o tipo de preservante para efeito de avaliação com o equipamento.

4.4. Inspeção com Ultrassom

A inspeção com ultrassom foi realizada nos postes de madeira dos circuitos de baixa tensão no bairro Mathias Velho, no município de Canoas. A inspeção se

deu em conjunto com a inspeção tradicional e com o dispositivo higródensimétrico. Esses testes foram realizados com a participação conjunta do professor André Bartholomeu que gentilmente disponibilizou seu equipamento de uso pessoal, seguindo a metodologia por ele recomendada (Bartholomeu, 2001; Bartholomeu, 2011).

Nas inspeções dos postes de madeiras realizadas com ultrassom, foi utilizado o equipamento de emissão de ondas de ultrassom, marca *Steinkamp BP-5*, com dois transdutores de 45 kHz, com a função de emissor e receptor das ondas ultrassônicas.

Os transdutores são ligados ao equipamento por meio de fios elétricos e são posicionados de forma que a onda eletromagnética atravesse a madeira no sentido radial do poste, conforme Figura 4.15.



Figura 4.15. Medição com ultrassom em poste de madeira

De acordo com Bartholomeu (2011) e Herrera (2008), as medições com o ultrassom foram realizadas no sentido radial e a cada 20 cm, iniciando na linha do engastamento até 1,40 m de altura. O resultado da medição foi definido como sendo a velocidade radial (V_{RR}). Foi efetuada também, uma leitura longitudinal desde o ponto zero até 1,40 m de altura, definida como velocidade de superfície (V_{SURF}).

Antes de iniciar o teste aplicou-se um gel condutor próprio para ultrassom encontrado no mercado farmacêutico, nas faces de contatos dos transdutores a fim de melhorar condução da onda de ultrassom na madeira. Após ligar o aparelho, o sensor de ultrassom é pressionado levemente contra o poste e o equipamento

efetua a leitura do tempo (t) de propagação da onda, que é medido em microssegundos (μs). Com esse tempo e o diâmetro do poste, calcula-se, através da equação (3.4) mostrada anteriormente, a velocidade de propagação da onda.

Além das medições com ultrassom, foram efetuadas três medições de umidade, uma na linha do engastamento, uma a 0,70 m da base e outra a 1,40 m no sentido longitudinal do poste e com as lâminas do higrômetro paralelas as fibras da madeira. O medidor utilizado foi do tipo com lâminas, marca *SULTEC*. A cada medição os resultados são anotados na planilha impressa, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Exemplo de dados obtidos pela avaliação de postes em serviço pelo método de ultrassom

<u>Velocidade Radial de ultrassom em poste de madeira em uso</u>							
Local:	Canoas				Data:	25/01/2011	
Eventual inscrição:	Poste 9 metros	Umidade:	7		6	6	
Aparência:	Classe 1	Poste nº:	A4				
Altura	t_{RR1}	t_{RR2}	Circ.	Diâm.	V_{RRmin}	t_{surf}	V_{surf}
0,0	120	125	65	20,69	1.655		
0,2	117	113	64	20,37	1.741		
0,4	108	110	64	20,37	1.852		
0,6	104	104	63	20,05	1.928		
0,8	109	109	63	20,05	1.840		
1,0	109	108	64	20,37	1.869		
1,2	110	171	63	20,05	1.173		
1,4	107	105	63,5	20,21	1.889	295	4.746

Fonte: Bartholomeu (2011).

Onde:

t_{RR1} – primeira medida do tempo (t_1) em μs , nos pontos indicados a cada 20 cm.

t_{RR2} – segunda medida do tempo (t_2) em μs , nos pontos indicados a cada 20 cm.

circ. – circunferência do poste no ponto medido.

diâm. – diâmetro calculado com base no valor da circunferência do ponto.

V_{RRmin} – velocidade de propagação da onda radial no percurso do transmissor para o receptor, em m/s.

t_{surf} - medida do tempo (t_s) em μs entre o engastamento e o último ponto a ser medido, ou seja, é o tempo que a onda ultrassônica superficial gasta para percorrer do ponto do engastamento até 1,40 metros de altura.

V_{surf} – velocidade de propagação, calculada com base na distância percorrida pela onda ultrassônica superficial entre a linha do engastamento e 1,40 metros de altura.

Finalizados os ensaios com ultrassom nos postes em serviços, Bartholomeu realizou os cálculos dos módulos de resistência à ruptura com o auxílio do *software Minitab*. Os resultados foram comparados com os dos testes de flexão e com os testes do dispositivo hidrodensimétrico e será descrito no capítulo 5 deste trabalho.

4.5. Teste de resistência à flexão

Os testes de flexão foram realizados no *Campus* da PUCRS em Viamão/RS, conforme mencionado no item 3.3.1.1. Na Figura 4.16 ilustra o *layout* proposto por Alencastro (2010) para o campo de teste de flexão.

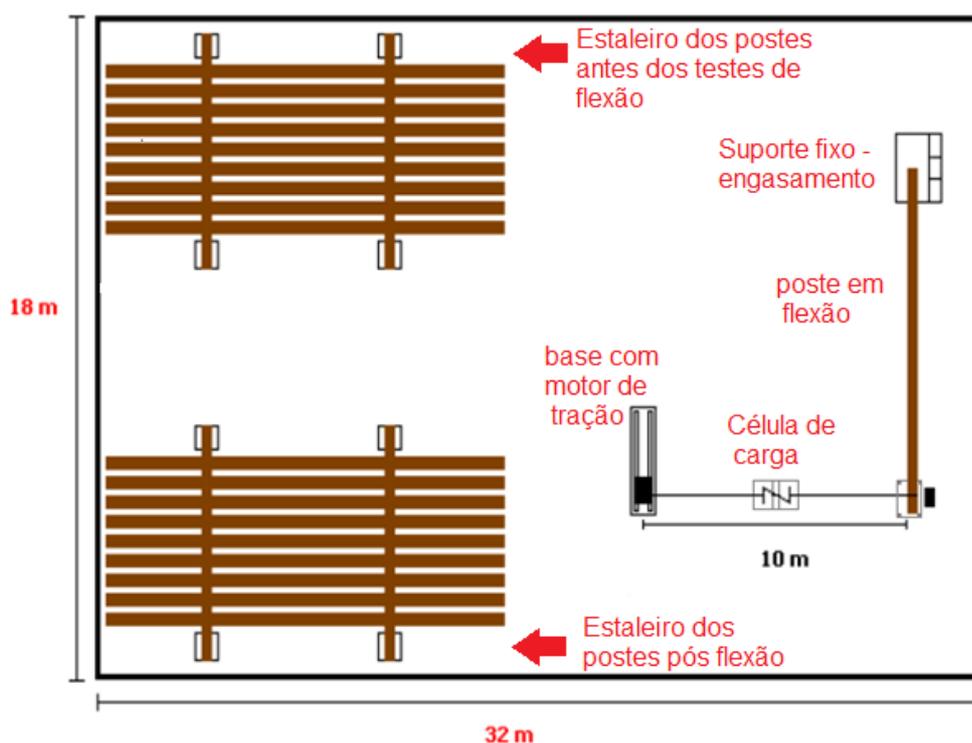


Figura 4.16. Layout da área de testes desenvolvido por Alencastro (2010)

Adaptação: VIDOR (2011)

A metodologia utilizada nesse teste foi elaborada por Alencastro (2010) na sua dissertação de mestrado dentro desse projeto de pesquisa e desenvolvimento. Uma vez recebido o lote de postes retirados da rede elétrica, esses são armazenados no estaleiro e movimentados com auxílio de um dispositivo móvel. A equação 4.1 foi utilizada para calcular o comprimento do engastamento do poste, conforme descrito na NBR 8456 (1984).

$$E = 0,1 \cdot H + 0,6 \text{ (m)} \quad (4.1)$$

Onde:

E = comprimento do engastamento em metros

H = comprimento nominal do poste em metros

O teste de flexão foi iniciado com o poste perfeitamente engastado no equipamento, de forma a não executar qualquer movimento neste ponto no momento da flexão. Uma carga foi aplicada continuamente a 20 cm do topo do poste, até que ocorreu sua ruptura, de tal forma que a sua velocidade de deformação tenha sido constante e igual ao valor dado pela equação 4.2.

$$V = \frac{K \cdot h_u^2}{C} \quad (4.2)$$

Onde:

V = velocidade de deformação em cm/min.

h_u = braço de alavanca em cm

C = circunferência na seção de engastamento em cm

K = 0,00146 – constante

Foram medidos os deslocamentos tanto do ponto de aplicação da carga em direção a esforço (flecha de coordenada “X”, ponto de tração) como a coordenada “Y”, do ponto de aplicação da carga em direção a base do poste, região de engastamento em consequência da deformação do mesmo. O limite de resistência da madeira na seção de engastamento foi calculado pela equação (4.3):

$$MOR(N/mm^2) = \frac{32\pi^2 P(L-y)}{C^3} \quad (4.3)$$

Onde:

MOR = limite de resistência da madeira na seção de engastamento em N/mm^2

P = carga de ruptura em N

L = distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga

y = ponto de aplicação da carga

C = circunferência na seção de engastamento em cm

O módulo de elasticidade da madeira foi calculado pela equação (4.4):

$$E_f = \frac{64\pi^3(L-y)^2}{3C^3c} \frac{\Delta P}{\Delta f} \quad (4.4)$$

Onde:

P = carga na ruptura

L = distância da seção de engastamento até o ponto de aplicação da carga

C = circunferência do poste no engastamento

ΔP = variação da carga aplicada no trecho elástico

Δf = variação da flecha no trecho elástico

C' = circunferência do poste no ponto de aplicação da carga

y = deslocamento do ponto de aplicação de carga

Para parametrizar o ensaio de flexão com os postes retirados da rede, utilizou-se como referência o valor de 85 N/mm², estabelecido na NBR 8456/84 para poste novo de madeira de eucalipto. Assim com o poste devidamente engastado e apoiado sobre um suporte móvel, foi preso um cabo de aço a 20 cm do topo, região pela qual ele foi puxado para flexão. Este cabo é preso a uma das extremidades de uma célula de carga, a qual tem sua outra extremidade presa a outro cabo que é tracionado em velocidade constante por um motor elétrico preso a um suporte deslizante,

O equipamento foi dimensionado para a realização de testes de resistência mecânica à flexão em postes de 8 a 12 m. O sistema de tração (motor e guincho) está apoiado sobre canaletas que permitem o deslocamento horizontal o que possibilita o ajuste para cada comprimento de poste em teste.



Figura 4.17. (A) e (B) – Teste de flexão de poste retirado da rede

Fonte: Vidor (2011)

A estrutura de testes é composta por um motor do fabricante *Work* para tracionar até 3 toneladas. Acoplado ao seu eixo é fixado um redutor de velocidade e um carretel com 7 m e cabo de aço. Para seu funcionamento, há um inversor de frequência 220 V monofásico, que permite o controle da velocidade constante determinada para cada teste. Uma célula de carga tipo Z com capacidade de 5 toneladas foi utilizada, com dois olhais de aço presos nas suas extremidades para fixação de cabos de aço ligados aos motor e ao poste. A célula de carga foi ligada por cabo serial a um indicador para transferência de dados, de marca Saturno, modelo SB 50000 S-II, que está conectado a um microcomputador portátil através da porta serial RS 232 para aquisição dos registros do poste testado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é destinado às discussões dos resultados obtidos nos testes mecânicos destrutivos e não destrutivos estudados neste trabalho. São apresentados tanto o protocolo de utilização e ajuste de parâmetros de calibração do dispositivo higrodensimétrico com as devidas adaptações pertinentes às condições locais, bem como a taxa de assertividade do equipamento em função dos resultados obtidos nos testes com ultrassom e de resistência à flexão, além da comparação com as inspeções tradicionais. Finalmente discute-se a viabilidade da utilização da técnica instrumental para a inspeção em larga escala de postes de madeira em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica.

5.1. Apresentação dos resultados brutos das inspeções higrodensimétricas nos postes de madeira

Os resultados completos obtidos pelo dispositivo higrodensimétrico, utilizado nesse trabalho, estão relatados na íntegra no Anexo C. O equipamento disponibiliza informações relevantes e necessárias para o entendimento dos resultados, porém essa informação somente está liberada após a transferência dos dados registrados na memória do equipamento para um computador. No momento da inspeção as informações disponíveis para o operador foram através dos indicadores luminosos, variando entre verde (V), verde piscante (VC), vermelho piscante (RC) e vermelho (R).

Em função disso inicialmente foi feita uma avaliação dos dados fornecidos em campo pelo equipamento, quanto ao estado de conservação dos postes, os quais deveriam ser suficientes para a tomada de decisão por parte do inspetor. Analisando os dados informados, verificou-se que a indicação dos sinalizadores correspondeu às médias entre as duas leituras efetuadas no poste (Tabela 4.4) para

os parâmetros de segurança (*Security average*) e manutenção (*Maintenance average*). A informação sobre o módulo de resistência residual (MOR_{RES}) não está disponível no momento da medida.

De acordo com o equipamento higrodensimétrico a análise dos postes apresenta duas características, uma definida como *segurança*, cujo fator principal é o aspecto físico do poste analisado, e a outra denominada *manutenção*, que estima o período de reinspeção. Os resultados referentes à característica segurança são mostrados na Tabela 5.1 e indicam que 67% dos postes de madeira estão em bom estado de conservação (V), 8% com início de deterioração (VC), 4% com deterioração média (RC) e 22% com postes de madeira em condições avançadas de deterioração (R) e necessitando substituição.

De uma forma geral esses resultados podem ser considerados positivos apesar do percentual elevado de postes em condições avançadas de deterioração.

Tabela 5.1. Classificação geral dos postes pelo equipamento higrodensimétrico referente ao quesito Segurança.

Classificação	Segurança	
	Qtde. Postes	%
V	312	67
VC	36	8
RC	18	4
R	101	22
Total geral	467	100

Na Tabela 5.2. são apresentados os dados referentes ao quesito Manutenção, verificando-se que 43% dos postes não necessitam manutenção sendo indicada reinspeção dos mesmos em 8 anos (V), 26% com início de deterioração, podendo ser programada a reinspeção em 5 anos (VC), 9% com deterioração média (RC), cuja reinspeção deve ser realizada em até 3 anos e 22% com postes de madeira em condições avançadas de deterioração necessitando substituição (R).

Tabela 5.2 -. Classificação geral dos postes pelo equipamento higródensimétrico referente ao quesito Manutenção.

Classificação	Manutenção	
	Qtde. Postes	%
V	201	43
VC	123	26
RC	41	9
R	102	22
Total geral	467	100

De acordo com Benoit (2004) os resultados de segurança e manutenção são complementares na composição do resultado final da análise do poste de madeira. Visando uma melhor compreensão da avaliação fornecida pelo equipamento foi feito uma comparação entre os resultados desses dois quesitos.

A Figura 5.1 mostra a correspondência entre as características de segurança e manutenção de todos os 467 postes analisados com o dispositivo higródensimétrico, no que concerne a classificação mencionada nas Tabelas 5.2. e 5.3.

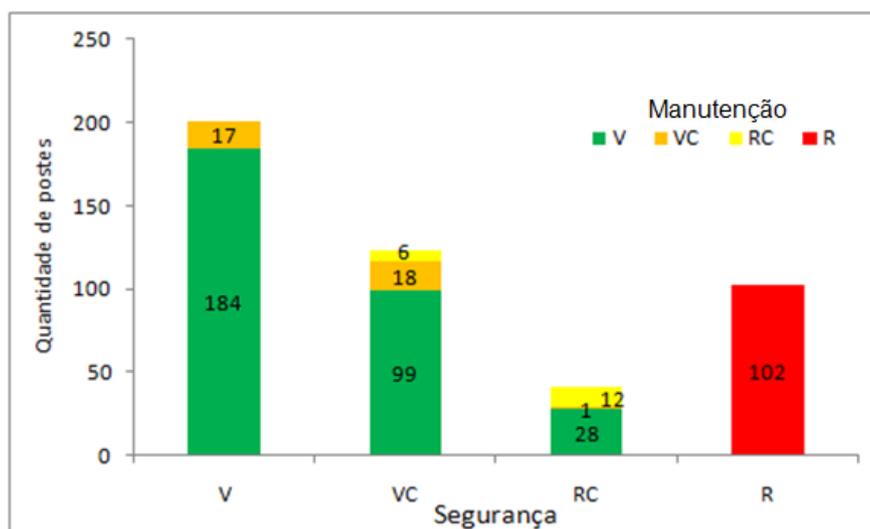


Figura 5.1. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo higródensimétrico utilizado nas inspeções dos 467 postes de madeira tratada.

Observa-se que a classe vermelha está 100% correlacionada entre os quesitos de segurança e manutenção, indicando que os postes devem ser retirados (manutenção) da rede elétrica em função do alto índice de deterioração (segurança).

No caso dos 201 postes que estão classificados como bons (classe V) para o item segurança, verifica-se que a maior parte deles (92%) apresenta a mesma

classificação no quesito manutenção, indicando reinspeção em até 8 anos. O percentual restante (8%) corresponde à classe VC, e a manutenção indicada é a reinspeção em até 5 anos.

Observa-se também que os postes nas classes intermediárias VC e RC, para o item segurança foram considerados como não necessitando de manutenção, sendo majoritariamente considerados na classe Verde. A coincidência de classificação entre Segurança e Manutenção foi pequena (20-32%) para essas classes consideradas intermediárias. Esses resultados sugerem que o equipamento hidrodensimétrico utiliza critérios menos rígidos para o quesito segurança comparado com o quesito manutenção.

Outro aspecto a ser considerado é o tipo de preservante utilizado no tratamento de cada poste inspecionado. Conforme comentado anteriormente essa informação é solicitada pelo equipamento antes da leitura, e parece influenciar tanto o sinal medido quanto a análise e tratamento do mesmo. Em função desse aspecto, foi feita uma análise em separado dos postes tratados com CCA e creosoto (CRE). Na Figura 5.2 tem-se o cruzamento dos dados de segurança e manutenção para os 178 postes tratados com CRE.

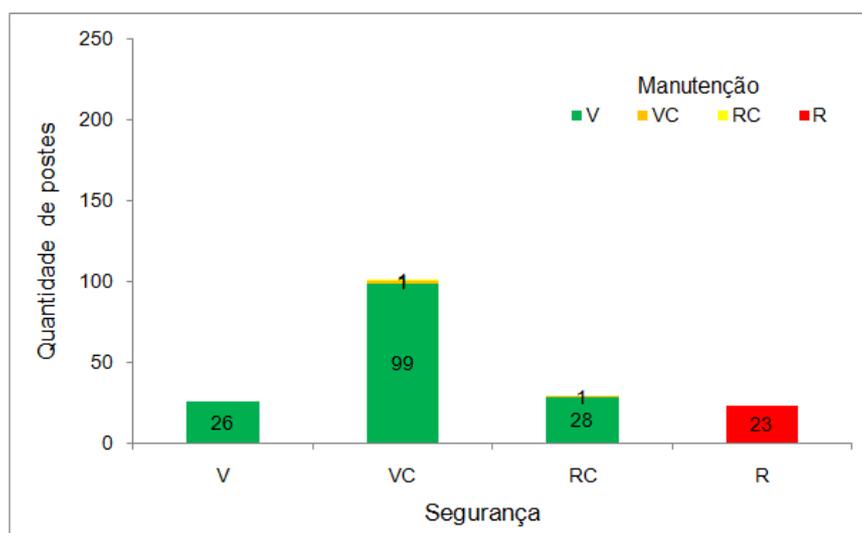


Figura 5.2. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo hidrodensimétrico utilizado nas inspeções dos postes de madeira tratada com creosoto

Verifica-se uma correspondência significativa entre os resultados de segurança com manutenção para as condições extremas, ou seja, poste em bom estado (V) e poste a ser substituído (R). Por outro lado, os estados de conservação intermediários de manutenção (VC e RC) tiveram dados discordantes com

praticamente todos os postes considerados em bom estado (V) no quesito segurança. Considerando que estes quesitos deveriam ter classificações semelhantes observa-se que o equipamento, para este tipo de preservante, não consegue segregar os estados de conservação obtidos na manutenção para o quesito segurança.

A Figura 5.3 ilustra o comparativo entre os quesitos segurança e manutenção para os 289 postes de madeira tratados com CCA. Para estes postes, não se verifica diferença entre os estados de conservação indicados para segurança e manutenção para postes comprometidos (R e RC). Para as faixas de postes em melhor estado de conservação (V e VC) verificou-se discordância, 10 e 22% respectivamente porém menos expressivas que para os postes tratados com CRE.

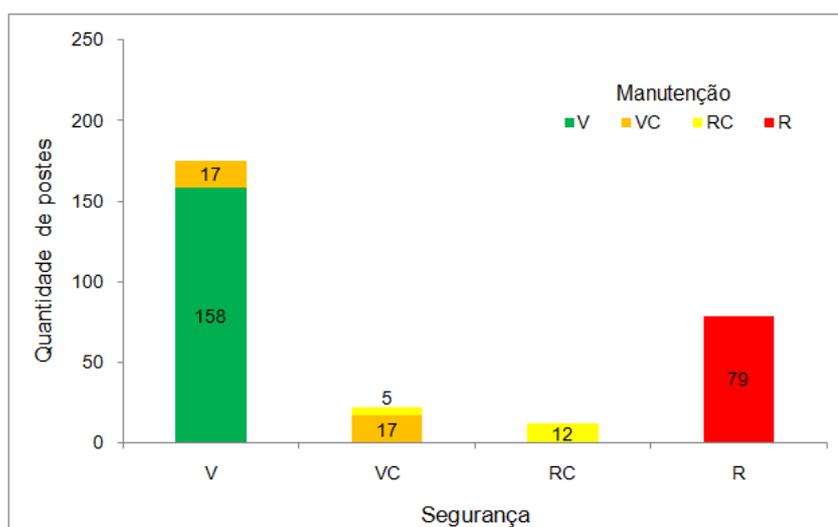


Figura 5.3. Comparativo entre segurança e manutenção, resultados informados pelo dispositivo hidrodensimétrico utilizado nas inspeções dos postes de madeira tratada com CCA.

Através da análise do conjunto dos dados percebe-se que os resultados para os postes tratados com CCA apresentam um maior grau de concordância nos quesitos segurança e manutenção. A aparente dificuldade do equipamento em discriminar estados intermediários de deterioração para postes tratados com CRE pode estar relacionada à influência desse preservante na medida e/ou no tratamento dos dados. Uma discussão mais aprofundada sobre essa questão é feita no item 5.2, mas cabe citar que mudanças nas características e propriedades físicas da madeira (p.ex.: densidade e umidade) são esperadas em função dos preservantes utilizados. Por outro lado, o tratamento dos dados está relacionado aos parâmetros

de calibração das equações utilizadas pelo equipamento para avaliar a resistência dos postes, as quais serão avaliadas na sequência.

5.2. Módulo de resistência calculado pelo equipamento higrodensimétrico

Os resultados dos Módulos de Resistência à Flexão residual (MOR_{RES}) calculados pelo equipamento, segundo metodologia proposta por Benoit (2004), são apresentados no Anexo C. Constatou-se que os valores de MOR_{RES} são incorretos, sendo extremamente elevados com média de 20.648 N/mm²; valor inconsistente para a madeira.

Em função disso, o fabricante do equipamento foi contatado para esclarecimento deste problema. Os dados obtidos foram enviados e o fabricante retornou com dados corrigidos sem, entretanto, comentar o tipo de problema apresentado. A primeira hipótese levantada foi de que a divergência pudesse estar na unidade da grandeza do MOR_{RES} . Assim, levando-se em consideração apenas a unidade da grandeza, verificou-se que o valor médio para o MOR_{RES} deveria estar com unidade em daN/cm², correspondente a 2.064 N/mm², valor ainda muito acima do prescrito pela norma para poste novo (85 N/mm²).

Outro aspecto importante foi quanto às diferenças observadas nos valores de MOR_{RES} para postes tratados com preservativos diferentes. Na Figura 5,4 esses resultados são observados através das distribuições dos módulos de resistência residual, calculado a partir dos dados capturados pelo dispositivo para postes tratados com CRE e CCA.

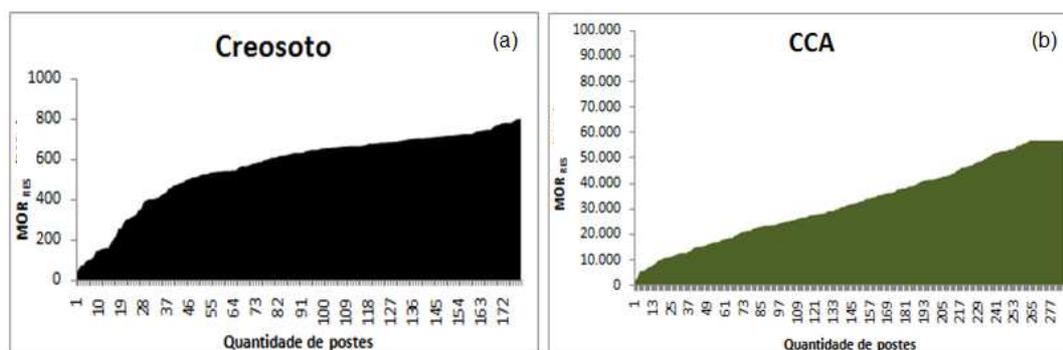


Figura 5.4. Postes tratados com creosoto (a) e com CCA (b), testados com dispositivo higrodensimétrico em função do módulo de resistência à flexão residual. Não foi indicado a unidade devido o MOR ser desconhecido.

Para os postes tratados com CCA, a média encontrada foi de 32.677 daN/cm² e para o creosoto 567 daN/cm², valores muito diferentes e considerados altos para qualquer tipo madeira. Desta forma, confirmou-se a hipótese de que os valores de MOR_{RES} estariam utilizando outra unidade (daN/dm²). Levando em consideração esse erro, os valores de MOR_{RES} foram recalculados gerando valores de 32,68 N/mm² e 56,70 N/mm² para postes tratados com CCA e CRE, respectivamente.

Utilizando essa correção todos os valores de MOR_{RES} foram recalculados e comparados com os valores corrigidos e enviados pelo fabricante do equipamento. Na Figura 5.5 a correlação obtida entre esses dois grupos de dados é apresentada.

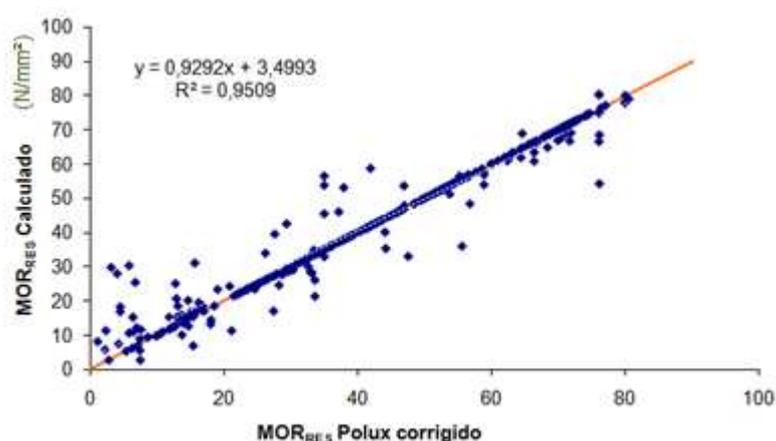


Figura 5.5. Gráfico da correlação entre dados calculados e corrigidos do dispositivo hidrodensimétrico.

Para encontrar a melhor correlação, cujo R² é de 95%, utilizou-se a equação 3.5 (capítulo 3), realizando simulação com valores para os parâmetros α , β e ϵ , uma vez que as variáveis F e H% são conhecidas pelo processo. Dessa forma foi possível encontrar uma correlação mais próxima dos valores corrigidos pelo fabricante.

Reverendo alguns resultados percebeu-se que havia duas relações basicamente constantes entre os valores corrigidos, para cada tipo de preservante. Notou-se que para o creosoto o valor médio do MOR_{RES} tinha relação na ordem decimal, ou seja, os valores encontrados pelo equipamento tinham que ser multiplicados por 0,1 para se encaixarem dentro da faixa esperada. Já para os postes tratados com CCA, para permanecerem na mesma faixa, foram multiplicados por 0,01. Assim, reavaliando as correlações entre o MOR_{RES} calculado nesse

trabalho e o MOR_{RES} corrigido pelo fabricante, o R^2 aproximou-se mais dos resultados corrigidos com diferença menor de 5%, valor aceitável dentro dos padrões estatísticos.

Na Figura 5.6 são apresentados os valores corrigidos para o módulo de resistência residual para o poste tratado com creosoto e CCA. Verifica-se que os valores são mais coerentes e muito diferentes aos valores calculados originalmente pelo equipamento, conforme mostrado anteriormente (Figura 5.4.).

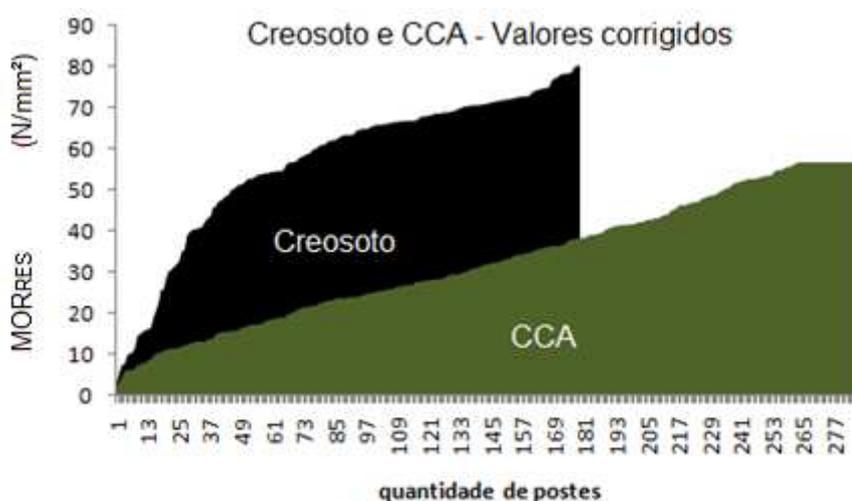


Figura 5.6. Postes de madeira tratada testados com dispositivo hidrodensimétrico com os módulos de resistência à flexão residual corrigidos

Percebe-se também que para o CCA existe uma linha de corte no extremo superior do valor do módulo, em torno de 55 N/mm². Esse fato sugere a hipótese de que o fabricante determinou um valor máximo, para a segurança do aparelho, a fim de evitar danos no sistema de captação do sinal (célula de carga e mecanismos em geral).

Na Figura 5.7 é mostrada a distribuição dos MOR_{RES} obtidos para todos os postes inspecionados, em faixas de 10 N/mm² para uma melhor visualização e comparação. Nessa figura também são mostrados os valores dos módulos de resistência residual à flexão dos postes em serviços utilizados na Suíça e na França, correspondente a 15 N/mm² e 18,3 N/mm², respectivamente (Benoit, 2010). Esses valores poderiam servir de comparação para as madeiras nacionais; porém são significativamente menores do que a média encontrada (41,87 N/mm²) para os postes avaliados.

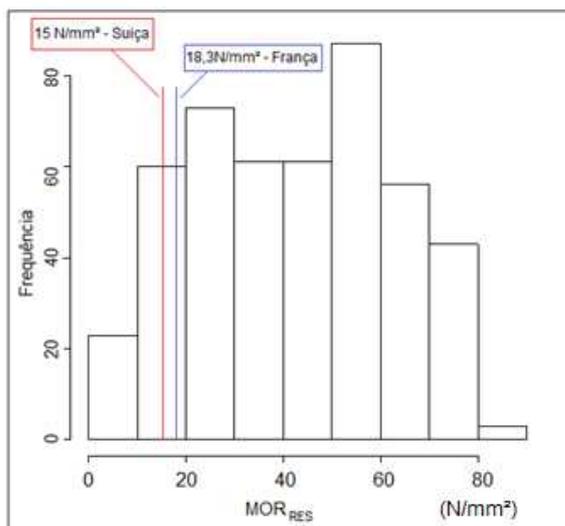


Figura 5.7. Variação do MOR_{RES} para os postes testados com equipamento higrodensimétrico e limites permitidos na Suíça e França para resistência à flexão

Cabe destacar que esse valor médio elevado sugere um bom estado de conservação dos postes na rede. Esse resultado confirma também dados de estudo realizados por Benoit (2004) e Vidor (2004) onde 187 postes em serviço no município de Montenegro foram inspecionados pelo equipamento higrodensimétrico (Figura 3.33). Na ocasião a maior parte dos postes também apresentava MOR_{RES} na faixa acima dos 40 N/mm², valor semelhante ao encontrado neste trabalho.

Outra consideração importante a fazer é sobre a distribuição dos valores de MOR_{RES} segmentados por tipo de preservante. Esses dados são apresentados nas Figuras 5.8 (A) e (B) para distribuição de frequência dos postes preservados com CCA e CRE.

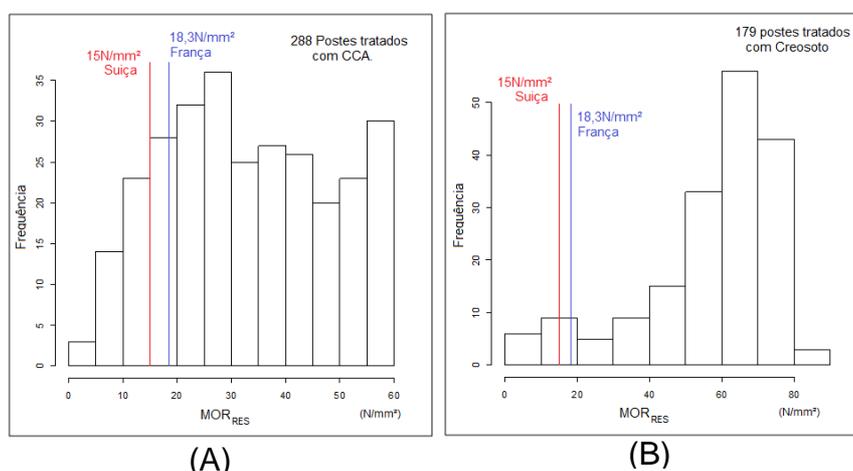


Figura 5.8. Distribuição dos postes segmentados por tipo de preservante CCA (A) e Creosoto (B)

Para o CCA observa-se que a distribuição se dá ao longo das faixas de 0 a 80 N/mm² enquanto que para o Creosoto a distribuição está concentrada a partir dos 40 N/mm². Esse comportamento é devido a diversos fatores, entre eles cabe citar a maior toxicidade, e conseqüente eficiência do CRE (Vidor et. al, 2011) na conservação da madeira. Outro aspecto significativo diz respeito à provável diferença entre espécies (e densidades) de madeira utilizada na fabricação do poste com estes dois preservantes. Os postes tratados com creosoto foram fabricados com data anteriores a 1995. Naquela época as espécies de eucalipto utilizadas na fabricação de postes eram as de maior densidade (p. ex: *C.citriodora*, 960 kg/m³) e conseqüentemente de maior resistência. Outra hipótese levantada é de que o creosoto por ser um material hidrofóbico, reduz a capacidade de armazenamento de umidade, devido à impregnação do material nas células da madeira. Já o CCA, que é um composto químico hidrossolúvel e a base de sais, potencializa a condutividade elétrica da madeira na presença da umidade.

Atualmente os postes de eucalipto instalados na rede de distribuição são fabricados com diversas espécies de madeira (Alencastro, 2010), inclusive de média e baixa densidade, como *E. Saligna* (793 kg/m³), *E. Grandis* (550 kg/m³) e preservados somente com CCA.

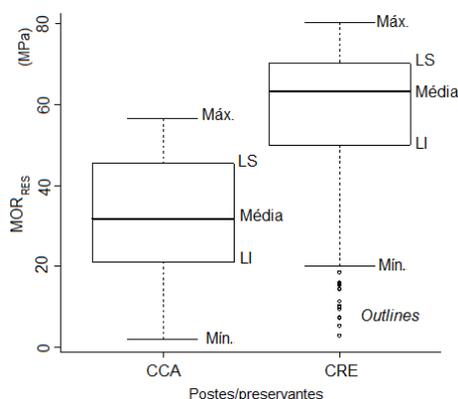
Na Tabela 5.3 é apresentada uma análise estatística da distribuição dos valores de MOR_{RES} separados por tipo de preservante. O valor médio global encontrado na avaliação foi de 41,87 N/mm². Entretanto, as médias individuais por tipo de tratamento apresentaram-se diferentes, mostrando que os postes tratados com creosoto possuem MOR_{RES} 35% superior a média geral, com uma melhor resistência a flexão, confirmando os dados apresentados na Figura 5.8.

Embora a diferença seja significativa entre os desvios padrão, não se pode afirmar estatisticamente que as médias sejam diferentes. Diante disso, utilizou-se o teste de distribuição *T de Student* para validar a hipótese nula envolvida nessa situação. Como geralmente em estatística utiliza-se o valor de 5% como nível de significância, aplicou-se o teste, cujo *P-valor* obtido foi igual a 9,39E-37, Portanto, menor que 5%, dessa forma rejeitou-se a hipótese nula de igualdade das médias das análises dos postes por tipos de preservantes, a um nível de 95% de confiança.

Tabela 5.3. Postes com preservantes Creosoto e CCA testados com dispositivo hidrodensimétrico.

	CRE (N/mm ²)	CCA (N/mm ²)	Todos os postes (N/mm ²)
Média	56,67	32,66	41,87
Desvio padrão	18,75	15,18	20,32
Mínimo	2,85	2,09	2,09
Máximo	80,35	56,54	80,35
Estatística do teste t		-14,44	
Grau de Liberdade		319,73	
Intervalo de confiança		95%	
P-valor		9,39E-37	

Na Figura 5.9 é apresentado o resultado do teste estatístico *boxplot* dos 467 postes ensaiados com o dispositivo, confirmando o *Teste T de Student*. Confirmou-se que a diferença do MOR_{RES} na distribuição dos postes de acordo com o seu tipo de preservante são estatisticamente diferentes.

Figura 5.9. Teste estatístico *boxplot* dos postes testados com o equipamento hidrodensimétrico

5.3. Proposta de classificação dos postes de madeira de eucalipto.

A proposta de classificação dos postes de madeira utilizou-se dos limites de resistência à flexão residual, para postes em serviços, de acordo com normas suíça (15 N/mm²) e francesa (18,3 N/mm²) e os coeficientes de segurança (Tabela 5.2). Embora fossem identificadas divergências entre os valores de MOR_{RES} para o eucalipto nacional, verificou-se então a necessidade de se definirem valores específicos para os postes de eucalipto do Brasil. Na busca por uma correlação mais adequada entre os resultados apresentados nas inspeções hidrodensimétricas (Tabela 5.3) e tradicional (Tabela 4.2), é proposta uma correlação entre as faixas de

classificação destes dois métodos. Comparando estas duas tabelas, foram identificadas similaridades nas observações atribuídas às classes. De forma que, fazendo a junção das informações, obteve-se a Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Comparação entre as classificações das inspeções higrodensimétrica e inspeção tradicional

Classificação		Parâmetros de Calibração	Inspeção Higrodensimétrica	Inspeção Tradicional
Insp. Tradic.	Insp. Higrod.			
1	V	$MOR_{RES} > 1,8 \times 18,3 \text{ N/mm}^2$	Classe verde, poste em bom estado sem sinal de deterioração, com coeficiente de segurança maior que 80% do valor projetado;	Poste sadio
2	VC	$1,3 \times 15 \text{ N/mm}^2 < MOR_{RES} \leq 1,8 \times 18,3 \text{ N/mm}^2$	Classe verde piscante, poste em bom estado, com coeficiente de segurança acima dos 30% e até 80% do valor projetado	Início de apodrecimento/retratar
3	RC	$1,1 \times 15 \text{ N/mm}^2 < MOR_{RES} \leq 1,3 \times 18,3 \text{ N/mm}^2$	Classe vermelho piscante, poste fraco, com coeficiente de segurança acima de 10% e até 30% do valor projetado;	Apodrecimento avançado/programar substituição
4	R	$MOR_{RES} < 1,1 \times 18,3 \text{ N/mm}^2$	Classe vermelha, poste sem coeficiente de segurança, necessário substituição.	Substituir

Observa-se que, para as classes 1 e verde (V), não há ação a ser tomada, no que tange ao poste de madeira. Para as classes 4 e vermelha (R), ambos denotam a necessidade de substituição dos postes. Da mesma forma, as classes intermediárias 2 e 3, respectivamente relacionadas como verde piscante (VC) e vermelho piscante (RC), apesar de denotarem conceitos distintos, identificou-se, na prática, que um poste com resistência residual acima de 30% (classe 2), encontra-se em início de deterioração, podendo ser retratado, enquanto um poste abaixo de 30% (classe 3) está com sua resistência residual comprometida, devendo, para a inspeção tradicional, ter sua substituição programada.

Diante disto, o autor deste trabalho sugere utilizar a classificação da inspeção tradicional como forma de apresentar as classes dos postes, ou seja, classes um, dois, três e quatro, representando, respectivamente, as classes verde, verde piscante, vermelho piscante e vermelho.

Na Tabela 5.4 encontra-se a distribuição dos postes inspecionados neste trabalho, com base nos valores de MOR_{RES} definidos por Benoit (2010), que fazem referência à aplicação das faixas de resistência residual (MOR_{RES}) dos postes

instalados nas redes de distribuição da Suíça e França. Exemplificando, os postes testados no Brasil, a partir da correlação com os parâmetros franceses, identificados como classe 1, correspondem a 63% da amostra (293 postes).

Tabela 5.5. Tabela com os parâmetros para madeira europeias utilizadas como referência na classificação dos postes de madeira nas avaliações higrodensimétricas.

Classe	França			Suíça		
	Faixa MOR _{RES} (N/mm ²)	Qtde. Postes	%	Faixa MOR _{RES} (N/mm ²)	Qtde. Postes	%
1	MOR _{RES} >32,9	293	63%	MOR _{RES} >27	334	72%
2	23,8< MOR _{RES} <=32,9	64	14%	19,5< MOR _{RES} <=27	53	11%
3	20,1< MOR _{RES} <= 23,8	27	6%	16,5< MOR _{RES} <= 19,5	16	3%
4	MOR _{RES} <= 20,1	83	18%	MOR _{RES} <= 16,5	64	14%
	Total	467	100%	Total	467	100%

No caso da correlação com os parâmetros definidos para a Suíça, esta classificação obteve 334 postes, o que corresponde a 72% da amostra. Sendo assim, foi feita a aplicação dos resultados deste trabalho aos dois critérios apontados por Benoit (2010), com intuito de verificar a distribuição dos postes e a coerência nos dados apresentados pelo equipamento.

A proposta sugerida, pelo autor, para classificação dos postes de eucalipto utilizados nesse estudo baseando-se no MOR_{RES} médio (22,27 N/mm²) obtidos nos testes de flexão (item 4.5), juntamente com os valores dos coeficientes de segurança (Tabela 5.4).

Baseado nas informações da Tabela 5.5, construiu-se proposta de classificação para os postes de eucalipto plantados no Brasil, cujos valores estão contemplados na Tabela 5.6.

Sabendo que a espécie do eucalipto é fator relevante para determinação da classe do poste de madeira e sem ter essa informação disponível nos postes em serviços, utilizaram-se métodos estatísticos para encontrar o valor que se aproximasse mais da distribuição normal dos resultados dos testes de flexão.

Tabela 5.6. Proposta de classificação para os postes de madeira de eucalipto nacional

Classe	Faixa MOR_{RES} (N/mm ²)	Brasil	
		Qtde. Postes	%
1	$MOR_{RES} > 40,2$	248	53%
2	$29,0 < MOR_{RES} \leq 40,2$	71	15%
3	$24,5 < MOR_{RES} \leq 29,0$	35	7%
4	$MOR_{RES} \leq 24,5$	114	24%
Total		467	100%

Nos testes de flexão foram analisados 52 postes, retirados da rede de distribuição após o ensaio hidrodensimétrico. Dos 52 postes flexionados, 26 serviram de base para construção da classificação dos postes testados, tendo em vista que estes 26 postes foram classificados de acordo com a inspeção tradicional como classe 4. A média do teste de flexão dos 26 postes resultou no MOR_{RES} de 14,51 N/mm², com desvio padrão de 7,83 N/mm², assim pode-se observar na Tabela 5.6 a distribuição das classes partindo da classe 4 (24,5 N/mm²) até a classe 1 (> 40,2 N/mm²).

A obtenção dos valores para a classificação em questão seguiu os mesmos índices que Benoit (2010) atribuiu às classes descritas na Tabela 5.4, mostrada acima. Partindo dos coeficientes de segurança tem-se para a classe 4, o produto da média encontrada (14,51 N/mm²) somada ao seu desvio padrão (7,83 N/mm²) o valor correspondente ao menor valor (24,50 N/mm²) admitido para esta classificação.

Já para a classe 3, a mesma média e desvio padrão foram atribuídos ao índice 1,30; correspondente ao menor valor (29,00 N/mm²) para a classe em questão. O mesmo procedimento balizou o cálculo para as classes 1 e 2, respeitando-se seus respectivos coeficientes de segurança (Tabela 5.6).

Sendo assim, do total dos postes testados, utilizando os limites definidos para o eucalipto nacional, revela que a rede apresenta 53% dos postes em bom estado de conservação (classe 1) e 24% em situação de risco de segurança (classe 4). É importante ressaltar que o número de amostras deste trabalho representa uma pequena parte do universo que compõe a rede de distribuição.

5.4. Avaliação de postes em serviços pelo método de ultrassom

A Tabela 5.7 mostra um resumo dos resultados relacionados a quantidade de postes testados com ultrassom, segmentado pelo tipo de preservante. Os resultados na íntegra obtidos nas análises estão relatados no Anexo E. Observa-se que foi possível efetuar análises válidas (duas ou mais medições) em 58% dos postes testados. Para os 20 postes tratados com creosoto (26% do total de postes) 65% não puderam ser analisados pelo ultrassom, por diversas causas, principalmente devido a impossibilidade da propagação da onda sonora através da estrutura testada. Esse valor é praticamente o dobro do percentual de postes tratados com CCA sem medição (34%).

Tabela 5.7. Número de postes em serviço testados com ultrassom separados em função do tipo de preservante.

Ultrassom	Com Medição	Sem Medição	Total
CCA	37	19	56
CRE	7	13	20
Total geral	44	32	76

O número mais expressivo de postes de creosoto com impossibilidade de efetuar a medição chama a atenção, tendo em vista que estes postes apresentaram maior resistência em outras análises (higrodensimétrica e inspeção tradicional) citadas anteriormente.

A determinação dos valores de MOR_{RES} dos postes testados com medição válida pelo ultrassom utilizou-se a expressão matemática resultante da regressão dos dados (Bartholomeu, 2011), representada na Equação 5.1. Nessa expressão se utiliza o menor valor de velocidade encontrada no sentido radial (V_{RRmin}) e a velocidade que a onda superficial de ultrassom trafega entre a linha do engastamento e 1,40m de comprimento (V_{SURF}), como variáveis do sistema.

$$MOR = -99,7 + 4,77 \cdot 10^{-12} \cdot V_{RRmin}^4 + 0,067 \cdot V_{surf} - 9 \cdot 10^{-6} \cdot V_{surf}^2 \quad (5.1)$$

Nesta análise de regressão não foi considerada a umidade da madeira. Apesar dessa limitação, a correlação encontrada foi a melhor combinação entre o MOR quando correlacionados com os módulos de resistência à flexão (item 4.5) dos

postes testada no *campus* de Viamão. No anexo D encontra-se o cálculo o MOR_{RES} do teste com ultrassom.

A Figura 5.10 certifica a distribuição normal dos dados, premissa do modelo proposto (Bartholomeu, 2011), referente aos resultados dos ensaios com ultrassom, cujo valor p foi maior que 0,10.

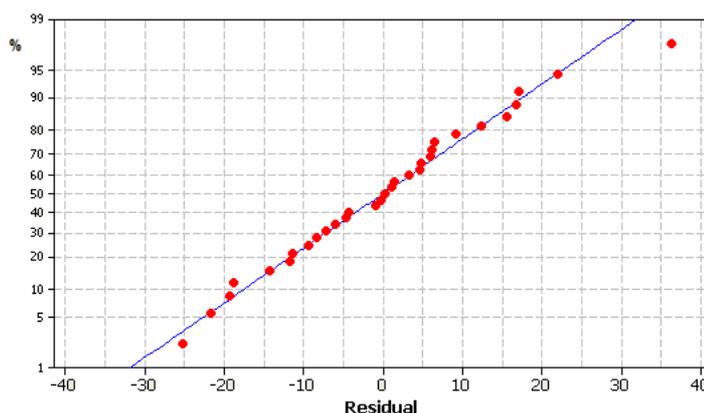


Figura 5.10 – Curva do Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov para ensaio de ultrassom

A Figura 5.11 a distribuição dos valores de MOR de todos os postes testados com ultrassom segmentados conforme o tipo de preservante do poste de madeira. Essa distribuição apresenta perfis diferentes dos observados para os dados da inspeção higródensimétrica (Fig. 5.6). Cabe destacar a presença de valores elevados tanto para os postes tratados com CRE como para CCA.

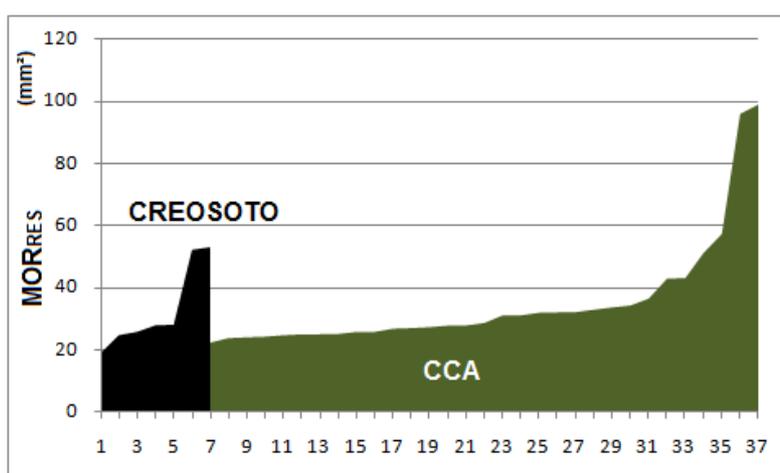


Figura 5.11 - Postes de madeira tratada testados com ultrassom distribuídos de acordo com os MOR_{RES} calculado.

Na tabela 5.8. apresenta a análise estatística da distribuição dos valores de MOR_{RES} separados por tipo de preservante. Verifica-se que os postes tratados com

CCA apresentaram MOR_{RES} médio de 32,99 N/mm² valor similar ao obtido pela inspeção higrodensimétrica (32,66 N/mm², Tab. 5.2). Já os postes tratados com creosoto apresentaram média (32,99 N/mm²) semelhante aos de CCA. Esse resultado não era esperado em função do maior valor observado na inspeção higrodensimétrica (56,67 N/mm²) bem como pelos dados da inspeção tradicional.

Tabela 5.8 – Resultados dos testes de ultrassom para os postes de madeira tratada.

	CRE	CCA	Resultado Geral
Média	32,99	32,82	32,85
Desvio padrão	13,73	17,96	17,21
Mínimo	19	16,1	16,1
Máximo	53	99,1	99,1
Estatística do teste <i>T</i>		-0,0235072	
Grau de liberdade		42	
Intervalo de confiança		95%	
P-valor		0,98	

A verificação da igualdade entre os valores médios de MOR_{RES} para os dois preservantes também foi feita. Os resultados dessa análise também são mostrados na tabela 5.7 com os resultados do teste *T de Student*, indicando a não rejeição à hipótese de nulidade. Sendo assim, não existe diferença entre as médias das amostras testadas com ultrassom, como esperado.

5.5. Comparação dos resultados entre métodos

5.5.1. Comparação entre o teste higrodensimétrico e a inspeção tradicional.

Neste item estão analisados os dados obtidos da inspeção tradicional e higrodensimétrica realizados nos postes de madeira, os quais foram comparados ente si, para verificação da assertividade dessas técnicas não destrutivas. Em seguida são feitas considerações sobre a distribuição das classes em virtude do tipo de preservante utilizado.

Dos 467 postes analisados com a inspeção higrodensimétrica, 411 puderam ser analisados conjuntamente com a inspeção tradicional, devido ao fato da perda de informações durante o processo. Os resultados obtidos na comparação entre a

inspeção tradicional e a inspeção higrodensimétrica destes 411 postes são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Distribuição comparativa dos postes a partir das inspeções tradicional e higrodensimétrica.

Classificação dos postes	Inspeção higrodensimétrica					Insp. Tradicional	
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total		
Inspeção Tradicional	Classe 1	97	27	17	22	163	40%
	Classe 2	49	11	5	18	83	20%
	Classe 3	42	12	11	25	90	22%
	Classe 4	34	10	5	26	75	18%
TOTAL	222	60	38	91	411		
Insp. higrodensimétrica	54%	15%	9%	22%	100%		

A tabela aponta que 97 postes analisados pela inspeção higrodensimétrica encontram-se em bom estado de conservação (classe 1) e deverão ser reinspecionados em até 8 anos, informação corroborada pela inspeção tradicional. Por outro lado, a inspeção higrodensimétrica mostrou que 49 postes identificados como classe 1, foram avaliados pela inspeção tradicional como classe 2, devendo ser reinspecionados em até 5 anos. A mesma metodologia aplica-se aos demais casos da tabela.

Observa-se que 54% do total de postes analisados nas inspeções higrodensimétricas como classe 1 estão distribuídos entre as quatro classes da inspeção tradicional, mostrando divergências quanto aos resultados dos métodos aplicados nas inspeções. Supõe-se que a inspeção tradicional subestime a vida útil do poste, pois a inspeção higrodensimétrica mostrou que há postes classe 4, para a inspeção tradicional, que ainda possuem resistência residual para permanecer na rede. Conforme se observa na Tabela 5.9, há 34 postes avaliados pelo aparelho como classe 1, que aparecem como classe 4 para a inspeção tradicional.

A assertividade da inspeção higrodensimétrica, comparada à tradicional, é verificada nos dados apresentados (Tabela 5.9), cujos valores coincidem entre as classes. Tem-se, para a classe 1, 44% de acerto; para a classe 2, 18% coincidem e nas classes 3 e 4 há 29% de correlação. De maneira geral, o equipamento tem 35% de assertividade entre os resultados das duas inspeções.

Diferenças entre as inspeções foram verificadas quanto ao preservante utilizado no poste. Verifica-se na Figura 5.12 que, para a inspeção

higrodensimétrica, os postes tratados com creosoto estão em geral classificados como classe 1. Os postes tratados com CCA, de outro lado, apresentam uma distribuição geral entre as quatro classes, corroborando os dados da Tabela 5.6.

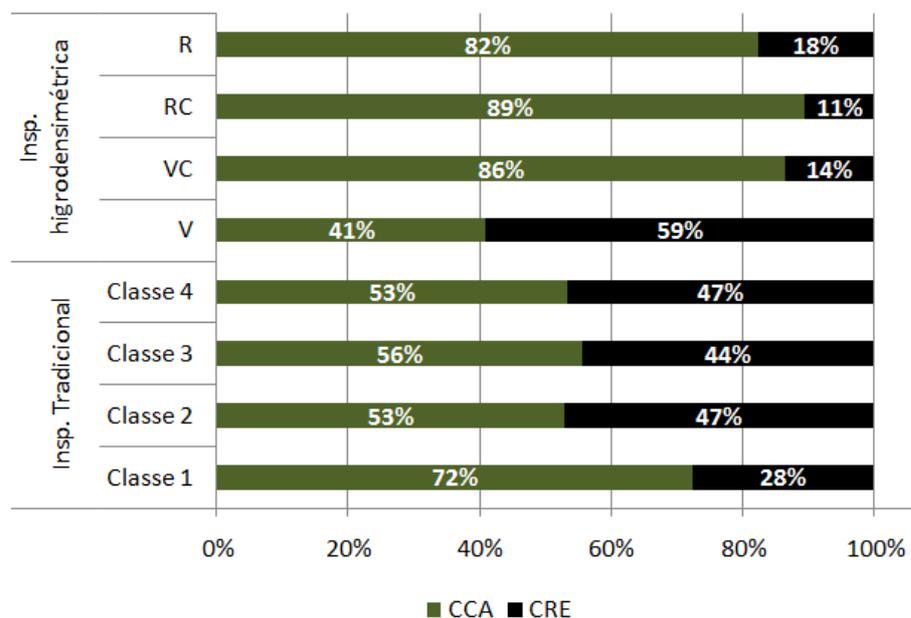


Figura 5.12 Distribuição dos postes conforme tipo de preservante segundo inspeção tradicional e higrodensimétrica.

A inspeção tradicional, diferente do apresentado pela higrodensimétrica, tem um maior número de poste tratados com CCA e pertencentes à classe 1, tendo em vista que a avaliação tradicional considera as características do estado físico do poste visualmente, enquanto a higrodensimétrica estima essas características de acordo com a densidade e a umidade, o que reflete na diferença entre as classes de inspeções. Assim, percebe-se que o poste de creosoto produzido com madeira de alta densidade, mesmo que perca massa no decorrer de vida útil, quando submetido ao teste de flexão, apresenta resistência residual acima de um poste novo de baixa densidade, como a espécie *E. Grandis* (Alencastro, 2010). O que mostra, neste contexto, que o aparelho de inspeção higrodensimétrica agrega informações não identificadas na inspeção visual, tornando a análise de postes tratados com creosoto mais completa e próxima ao real.

5.5.2. Comparação dos resultados do teste higrodensimétrico com o ultrassom.

Neste item estão analisados os dados obtidos da inspeção higrodensimétrica e ultrassom realizados nos postes de madeira, os quais foram comparados ente si, para verificação da assertividade dessas técnicas não destrutivas. Em seguida serão feitas considerações sobre a distribuição das classes em virtude do tipo de preservante utilizado.

Foram separados 40 postes para inspeção com ultrassom e higrodensimétrico, destes somente 18 postes puderam ser avaliados pelas duas inspeções conjuntamente, conforme se verifica na Figura 5.13. O equipamento de ultrassom não conseguiu sinal de leitura válido para 22 postes, destes 8 tratados com creosoto e 14 com CCA.

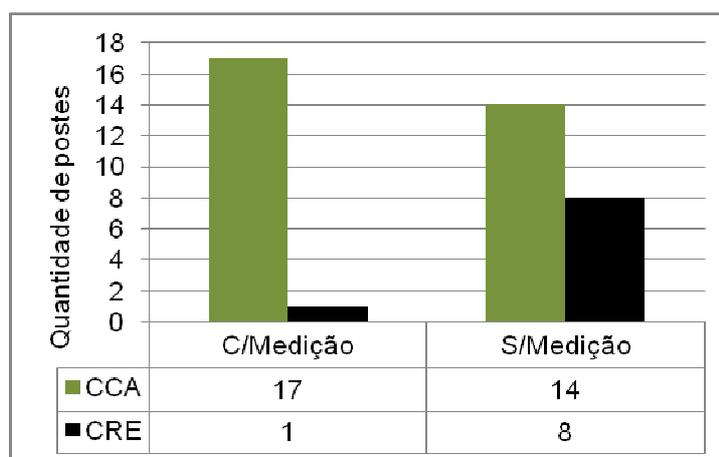


Figura 5.13 – Quantidade de postes inspecionados com ultrassom segregados por tipo de preservantes

Através da análise da Figura 5.14, observa-se que o ultrassom teve maiores limitações no teste de postes tratados com creosoto. Uma vez que os postes considerados classe 1 para a inspeção higrodensimétrica, com o ultrassom não foi possível analisá-lo.

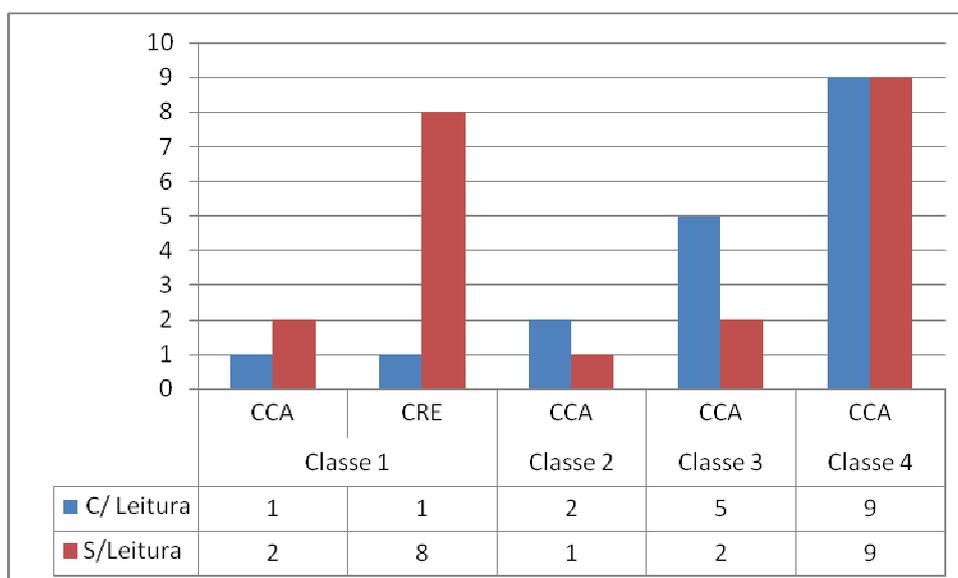


Figura 5.14 – Quantidade de postes analisados pelo ultrassom agrupados pelo tipo de preservante

Com os módulos de resistência à flexão dos postes testados com ultrassom calculados a partir da equação 5.1, utilizou-se a faixa de classificação do dispositivo higródensimétrico (Tabela 5.6) para elaborar a distribuição dos postes em classes, conforme mostrado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Distribuição dos postes classificados de acordo com as inspeções por ultrassom e higródensimétrica.

		Inspeção higródensimétrica				Total	Inspeção Ultrassom
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4		
Inspeção c/ Ultrassom	Classe 1			2		2	5%
	Classe 2		1	2	3	6	15%
	Classe 3	2	1		4	7	18%
	Classe 4	10	1	3	11	25	63%
Total		12	3	7	18	40	100%
I. higródensimétrica		30%	8%	18%	45%	100%	

A tabela indica que não há postes da classe 1 coincidentes entre as inspeções e que 2 postes indicados como classe 2 na inspeção higródensimétrica, para o ultrassom resultou como classe 3. Outra informação trata-se de 10 postes classificados em bom estado pelo dispositivo higródensimétrico, porém para o ultrassom não foi possível realizar as leituras, supostamente devido às condições físicas do poste (fendas, deterioração e o preservante).

Não foi verificada correlação entre os dados resultantes entre as duas inspeções ($R^2 < 0$) confirmados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, cujo p-valor ficou abaixo de 0,10. Sendo assim, a assertividade da inspeção hidrodensimétrica, comparada ao ultrassom não existe.

Considerando somente os valores brutos de MOR_{RES} pelas duas técnicas de inspeção não se verificou correlação entre os resultados. Entretanto, quando a análise é feita utilizando o percentual incidentes nas classes de conservação de cada teste, observa-se uma correlação na ordem de 51%, conforme Figura 5.15 .

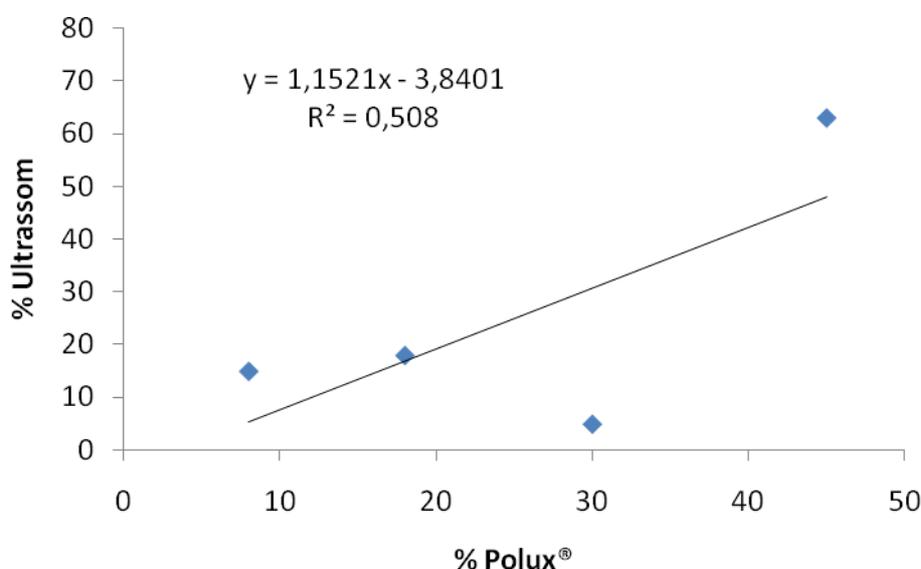


Figura 5.15 – Correlação entre os percentuais das classes de conservação entre Polux® e Ultrassom

5.5.3. Comparação dos resultados do teste hidrodensimétrico com o teste de resistência de ruptura à flexão

Neste item serão analisados os dados obtidos a partir da inspeção hidrodensimétrica e do teste de flexão, realizados nos postes de madeira, os quais foram comparados entre si, com o intuito de validar a assertividade da técnica não destrutiva.

A Tabela 5.11 mostra a quantidade de postes analisados na inspeção hidrodensimétrica, segmentados de acordo com a classificação proposta (Tabela 5.6) confrontando-os com os resultados dos testes de flexão.

Verifica-se que o equipamento hidrodensimétrico classificou 10 postes como correspondentes à classe 1, fato confirmado pelo teste de flexão, indicando nova

inspeção em até 8 anos. Assim como 5 postes foram classificados como classe 1 pelo dispositivo higrodensimétrico e o teste de flexão, entretanto, indicou classe 2 para estes postes, sendo necessária reinspeção em até 5 anos. Com relação aos 7 postes indicados pelo dispositivo como em bom estado, houve divergência a partir dos dados do teste de flexão, já que houve a indicação de que esses postes não se encontravam em bom estado, devendo ser, portanto, substituídos.

Supõe-se que esta divergência esteja ligada a diversos fatores, como a espécie da madeira e o tipo de tratamento a que foi submetida. As espécies de madeira possuem valores específicos de densidade, conforme Alencastro (2010), o que pode influir nos resultados calculados pelo equipamento higrodensimétrico, apesar de que o aparelho é programado para inferir os dados de densidade. O tipo de tratamento a que a madeira foi submetida pode ser relevante para o resultado estimado pelo equipamento, mesmo que este seja alimentado com a informação do tipo de preservante no momento da medição.

Tabela 5.11 - Distribuição comparativa dos postes a partir das inspeções higrodensimétrica e testes de flexão.

		Inspeção higrodensimétrica				TOTAL	Inspeção Tradicional
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4		
teste de flexão	Classe 1	10				10	67%
	Classe 2	5	1	1	1	8	16%
	Classe 3	6	3		1	10	20%
	Classe 4	7		3	13	23	45%
TOTAL		28	4	4	15	51	
I. Higrodensimétrica		55%	27%	27%	29%	100%	

Considerando que 35% dos postes classe 1 sejam coincidentes entre as técnicas e que um poste classificado para ser reinspecionado em até 5 anos (classe 2) esteja em bom estado, sugere-se que os resultados do equipamento higrodensimétrico seja corroborados pelo teste de flexão, na qual incide a taxa de assertividade de 60% entre as inspeções.

Com relação aos resultados dos postes classe 4, conforme apresentados pelo equipamento higrodensimétrico, estão 86% em conformidade com os resultados do teste de flexão. Embora que 25% dos postes classe 1 do teste não destrutivo são divergentes do teste de flexão que aponta para classe 4, presume-se que esta

discrepância seja devido a espécie da madeira utilizada, como já mencionada anteriormente.

A Figura 5.16 apresenta a correlação entre os resultados (MOR_{RES}) dos postes testados com o dispositivo higrodensimétricos e os resultados dos testes de flexão. Verifica-se que o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,44$) indica uma fraca correlação entre os dados em questão. Entretanto, não se pode, contudo, categorizar que esse resultado invalide a correlação, pois diversas suposições foram relatadas sobre divergências que podem influenciar os resultados distintos entre as técnicas, podendo, assim, alterar este coeficiente.

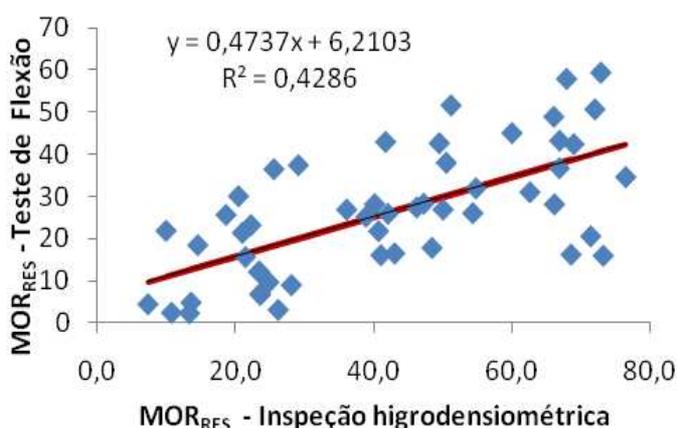


Figura 5.16 - Correlação dos resultados dos ensaios com dispositivo higrodensimétrico e teste de flexão

A fim de confirmar a distribuição normal entre os dados analisados, realizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, demonstrado na Figura 5.17, que confirmou que existe uma distribuição normal entre os resultados do gráfico de correlação entre os ensaios higrodensimétricos e teste de flexão, cujo p-valor foi maior que 0,10, caracterizando, desta maneira, a distribuição normal entre os dados.

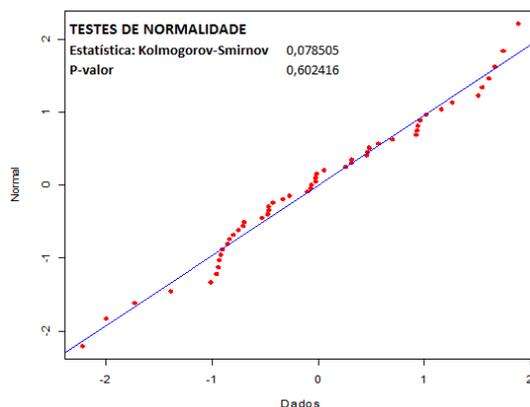


Figura 5.17 - Teste de Kolmogorov-Smirnov entre os resultados dos testes higrodensimétrico e flexão

5.5.4. Vantagens e desvantagens do equipamento higrodensimétrico na aplicação de inspeção em poste de madeira em serviço.

Por se tratar de um dispositivo mecânico, com eletrônica incorporada a seu sistema e que se utiliza das propriedades físicas da madeira (densidade e umidade) o equipamento pode tornar as inspeções sistêmicas e objetivas, se operado corretamente e com auxílio da inspeção tradicional. De uma maneira geral o equipamento utilizado pode ser considerado confiável, embora em alguns casos apresentem divergências com relação aos resultados de outros métodos de inspeção e principalmente com teste de flexão.

Além disso, trata-se de um dispositivo de fácil operação, que não requer conhecimentos complexos em sua operação, com ressalva para a atenção que requer no momento da penetração da agulha na madeira, pois dependendo do esforço a que a agulha é submetida, pode empenar ou quebrar.

Apesar de a agulha ser uma peça de reposição, não há fornecedores no Brasil, o que faz do tempo de reposição um entrave à disponibilização e uso do equipamento. Além do tempo de entrega, o custo da agulha é relativamente alto, comparado ao valor total do equipamento e tem um índice de quebra considerável. Para testar os 467 postes de madeira, a título de exemplificação, foram utilizados 10 pares de agulhas, a um custo médio de €30,00 por agulha.

Outro item importante está relacionado ao peso total do aparelho, que se aproxima de 8 kg. Ao final do dia de trabalho, o equipamento parece ter o triplo do peso original, o que causa desconforto ao operador. Seria ideal que houvesse algum tipo suporte para auxiliar seu transporte. Além disso, verificou-se, durante as inspeções, que em um dia de 8 horas de trabalho, é possível inspecionar em média 35 postes em serviço, tempo necessário para realizar os testes com o aparelho e a inspeção tradicional. Considerada essa estimativa, o deslocamento entre os circuitos requer uma equipe formada por, no mínimo, duas pessoas devidamente treinadas.

Assim, como o dispositivo pode ser utilizado em qualquer tipo de madeira, desde que calibrado adequadamente pelo fabricante, recomenda-se o uso nas inspeções de postes de madeira de eucalipto, com o acompanhamento da inspeção tradicional para corroborar os resultados da avaliação, já que o equipamento mostrou uma assertividade favorável ao seu uso, conforme demonstrado na Tabela

5.10 deste trabalho. É preciso, no entanto, aplicar um maior número de postes para que esses dados sejam confirmados em uma amostra quantitativamente mais expressiva.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a avaliação de um dispositivo higrodensimétrico que, baseado em medidas de força e umidade, estima o estado de conservação de postes de madeira em serviço em rede de distribuição de energia elétrica.

Estabeleceu-se o protocolo de utilização desse dispositivo, por meio de diferentes ajustes para sua validação de acordo com as condições locais. Dentre eles, cabe citar o ajuste dos parâmetros que resulta na estimativa correta do módulo de resistência à flexão residual (MOR_{RES}) dos postes avaliados. Utilizando essa correção e os dados de inspeção higrodensimétrica de 467 postes em serviço, foi proposta uma classificação baseada na resistência residual mínima de 24,5 N/mm². Este valor é resultante da comparação entre a inspeção higrodensimétrica e testes destrutivos de flexão aplicados em 52 postes retirados de serviço. Acredita-se que esse valor retrate melhor as características da madeira de eucalipto utilizada na fabricação dos postes no Brasil, do que os valores propostos para madeiras europeias.

Na comparação entre as técnicas observou-se uma boa correlação (85%) da inspeção higrodensimétrica com a inspeção tradicional. Parte da discordância observada pode ser atribuída às dificuldades da inspeção tradicional em considerar as características físicas e mecânicas diferenciadas das espécies de eucalipto encontradas na rede.

Por outro lado, não foi verificada correlação entre as inspeções ultrassônica e higrodensimétrica. Em campo o ultrassom, apesar de apresentar maior facilidade de manuseio e rapidez na medição, mostrou-se com menor capacidade de medida em postes tratados com creosoto e/ou em estado avançado de deterioração. Esses resultados devem ser avaliados com precaução em função do pequeno número de amostras (n=18) utilizadas nesta comparação.

Verificou-se uma baixa correlação (42%) na comparação entre os MOR_{RES} obtidos na inspeção higrodensimétrica e nos testes de flexão. Por outro lado, quando esses dados são convertidos em faixas de valores, representando o estado de conservação dos postes (Classes 1 a 4), obtêm uma melhor assertividade (75%) entre esse métodos.

Baseados nos resultados obtidos, recomenda-se a utilização do equipamento de forma complementar à inspeção tradicional. Entretanto é necessário avaliar o custo/benefício do seu uso, considerando os valores do equipamento e consumíveis, além da produtividade desejada.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

- Elaboração de correlação entre os testes ultrassom x inspeção tradicional e com os demais testes;
- Realização de testes com outros métodos para os casos divergentes das classes 1 e 4 dos testes higrodensimétrico e de flexão à ruptura;
- Elaboração de ensaios com ultrassom em maior número de postes;
- Desenvolvimento e/ou adaptação de agulhas (eletrodos) para as madeiras com densidade maior, a fim de melhorar a resistência e reduzir o número de danos.

7. BIBLIOGRAFIA

ABENDI (2010). **Ensaio Não Destrutivo – END**. Disponível em: <http://www.abende.org.br/info_end_oquesao.php?w=1366&h=768>. Acesso em: 8 outubro 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR8456. **Postes de eucalipto preservados para rede de distribuição elétrica**. São Paulo: ABNT, 1984.

ABNT, **Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR7190:Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília, 2010.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2007**. Brasília: 2008.

AES Sul, Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. **Especificação Técnica de Postes de Madeira**. www.aessul.com.br, 2008.

AES Sul, Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. **Tarefa do Eletricista Multitarefa – SULCTD20010094**, São Leopoldo, 2010 - A.

AES Sul, Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. **Plano de Manutenção da Distribuição 2011- PMD 2011**, São Leopoldo, 2010 - B.

AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. **Esquema da rede elétrica elaborado no Gis Designer**, 2011.

ALENCASTRO, J.I.D. **Caracterização mecânica de postes de eucalipto utilizados em redes de distribuição de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Porto Alegre: PUCRS, 2010.

ALEXOPOULOS, C.J.; et al. **Introductory Mycology**. 4.ed. John Wiley & Sons.Inc, 1996.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Segunda revisão tarifária periódica da concessionária de distribuição de energia elétrica- Nota Técnica nº 107**. Brasília: ANEEL, 2009.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Segunda revisão tarifária periódica da concessionária de distribuição de energia elétrica- Nota Técnica nº 320**. Brasília: ANEEL, 2009.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Segunda revisão tarifária periódica da concessionária de energia elétrica- Nota Técnica nº 108**. Brasília : ANEEL, 2009.

ANTHONY, R. **Investigation of historic timber structures using portable X-ray technology**. *Proceedings of the International Conference on Conservation of Historic Wooden Structures*. Florence, Itália, 2005.

ARATO JUNIOR, A. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações**. Barueri: Manole , 2004.

ARRUDA, R. **Melhorias nos métodos de identificação e controle dos postes de madeira por meio da rádio frequência e do estudo de suas propriedades mecânicas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre: Faculdade de Engenharia, Física e Química PUCRS, 2006.

ARRUDA, R.P., et al. **Estudo sobre a caracterização de postes de Madeira utilizados em linhas de Transmissão de Energia através de ensaios de Flexão e Compressão**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. 2006.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom**. Tese de Doutorado. Campinas: UNICAMP, 2001.

BARTHOLOMEU, A. **Comunicação Pessoal sobre a Metodologia para testes com ultrassom**. Porto Alegre, 2011

BARTHOLOMEU, A.; GONÇALVES, R. **Predição do Módulo de Elasticidade à Flexão em vigas de Eucalipto saturadas e secas ao ar utilizando a velocidade**

longitudinal de ultra-som. IV Conferencia Panamericana de END. Buenos Aires, 2007.

BENOIT, Y.; SANDOZ, JL. **In Field Non Destructive Tests For Wooden Poles For The Security And The Maintenance OF The Over Head Power Lines.** CIRED-17TH International Conference on Electricity Distribution, 12 a 15 de Maio de 2003, Barcelona.

BENOIT, Y. **Viellissement et fiabilité des parcs de poteaux bois des réseaux de lignes aériennes: L'intérêt du contrôle non destructif.** Thèse pour l'obtention du grade de docteur ès sciences. Lausanne: EPFL, 2004.

BENOIT, Y.; SANDOZ, JL. (2010) **The Importance of the Nondestructive Technologies for Wooden Poles Network Asset Management.** Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/v11n04/benoit/benoit.htm>>. Acesso em 10 de dezembro de 2010.

BERTOLA, A. Eucalipto (2010). **100 Anos de Brasil. "Falem mal, mas continuem falando de mim!"**. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 13 agosto 2010.

BOTELHO JUNIOR, J.A. **Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos.** Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado. Porto: Universidade do Porto, 2006.

DIAS, A.A.; AZAMBUJA, M.; OLIVEIRA JUNIOR, S.F. **Análise estatística comparativa entre adesivos poliuretanos frente ao resorcinol-formaldeído aplicados em emenda dentada estrutural para espécie eucalyptus grandis.** 17^o CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-202-050.pdf>>. Acesso em: 14 agosto 2010.

FAO. **El eucalipto en la repoblacion vegetal.** Roma: Colección MontesII, 1981.

FARIA, J.G. de Aguiar. **Administração da manutenção.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1994.

FEIO, A.O.; LOURENÇO, Paulo, B. **Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos (2005).** Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/4894>>. Acesso em: 29 agosto 2010.

FRANCISCHINELLI, A. Postes de eucalipto tratado. nº 97, Caxias do Sul: **Revista Madeira**, 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=918&subject=E>. Acesso em: 29 agosto 2010.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos, 2000.

GERALDO, F.C. Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, **Revista Referência**, Ed. 44, Paraná, 2005.

HERRERA, S.; GONÇALVES, R. **Nova Tecnologia para Inspeção de Postes**, CLADE 2008 – Congresso Latinoamericano de Distribucion Eletrica, Mar del Plata, Argentina, 2008.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne, 1978.

IML. **Instrumenta Mechanik Labor System GmbH. Test - and measuring instruments for trees and timber structures**. Disponível em: <<http://www.imlusa.com/US-Broschuere-Web.pdf>> Acesso em: 12 dezembro 2010.

IML. **Tools for an Internal View**. Disponível em: <<http://www.imlusa.com/US-Broschuere-Web.pdf>>. Acesso em: 10 outubro 2010.

ISIK, F.; LI, B.; Rapid assessment of wood density of live trees using IML Resifor selection in tree improvement programs”. **Canadian Journal of Forest Research**, Vol. 33: pp. 1-10. 2004.

MACEDO, A.N. **Fadiga em emendas dentadas em madeira laminada colada**. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 195p, 2000.

MACHADO, J.; CRUZ, H.; Avaliação do estado de conservação de estruturas de madeira. Determinação do perfil densidade por métodos não destrutivos. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. No 42: pp. 15-18. 1997.

MINÁ, A.J.S.; FREITAS, R.R.; DIAS, A.A. **Comentários sobre a NBR 6231/1980 – Postes de Madeira. 10º EBRAMEN, Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**. São Pedro – SP, 2006.

MORESCHI, J.C.O. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR – Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/Moreschi/ptm.pdf>. Acesso em: 10 outubro 2010.

PELIZAN, T.R. **Estudo de propriedades mecânicas de peças roliças de eucalipto citriodora utilizando a técnica de ultra-som**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos: UFSCAR, 2004.

PEREIRA, J.C.D.; et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Paraná, Embrapa Florestas, 2000.

PFEIL, W. **Estrutura de Madeira**. Rio de Janeiro: editora LTC – Livros Técnicos e Científicos: 2003.

Picus tree inspection equipment. ARGUS Eletronic gmbh. Rostock - Germany : s.n., 2009.

PRESCHEM (2010). **Apodrecimento causado por fungos**. Disponível em: <<http://www.preschem.com/portpage4.html>> Acesso em: 06 outubro 2010.

PRYOR, L.D. **Biology of eucalyptus**. London: Edward Arnold, 1976.

RECH, C. Retratilidade da Madeira. **Revista da Madeira, Revista Madeira**, nº 59, Caxias do Sul: 2001.

RINN, F., SCHWEINGRUBER, F., & SCHÄR, E. **Resistograph and x-ray density charts of wood comparative evaluation of deill resistance profiles and x-ray density charts of different woods species**. Vol. 50. Holzforschung: 1996.

SANDOZ, J. L. Grading of construction timber by ultrasound. **Wood Science and Technology**, Vol. 23, 2, p.95-108, 1989.

VIDOR, F.L.R. **Avaliação de Processos de Inspeção e Retratamento de postes de Madeira**. Dissertação de Mestrado em engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre: pucrs, 2003.

VIDOR, F.L.R. **Avaliação da Vida Útil de postes de madeira em Serviço em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese de doutorado em engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre: PUCRS, 2011.

8. ANEXOS

ANEXO A – Resultado do teste *T de Student*

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES

DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
T	-14,44461458
Graus de Liberdade	319,7344698
P-valor	9,38875E-37
Média no grupo 1:	32,662
Média no grupo 2:	56,67430168
Desvio padrão amostral do grupo 1:	15,18111186
Desvio padrão amostral do grupo 2:	18,7462276
Hipótese Alternativa: Média populacional diferente de mu	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Inferior	-27,28286805
Limite Superior	-20,7417353

ANEXO B – Guia de utilização do Polux ®

A tecnologia do dispositivo higrodensimétrico é projetada para a segurança e a manutenção dos postes de madeira usados nas linhas elétricas e de telecomunicações. A medida dá um possível diagnóstico do estado real, terminando a inspeção visual da parte aérea do poste. O uso do dispositivo é reservado aos especialistas de domínio. O resultado é dado pelo dispositivo e não tem garantia de 100%. Os usuários do dispositivo higrodensimétrico que trabalham com os resultados devem ser então informados sobre a complexidade da madeira, um material natural, para compreender os limites de confiabilidade de todo o método da medida.

Mesmo assim o dispositivo higrodensimétrico oferece um conhecimento melhor nos desempenhos mecânicos residuais dos postes de madeira, a tecnologia tem seus próprios limites. A melhor segurança será obtida em associar o diagnóstico da medida à perícia visual de um técnico treinado especial para este trabalho. A tecnologia do dispositivo higrodensimétrico deve ser usada respeitando o guia de usuário atual.

1-1 Vista geral

O dispositivo do dispositivo higrodensimétrico é entregue com os seguintes artigos:

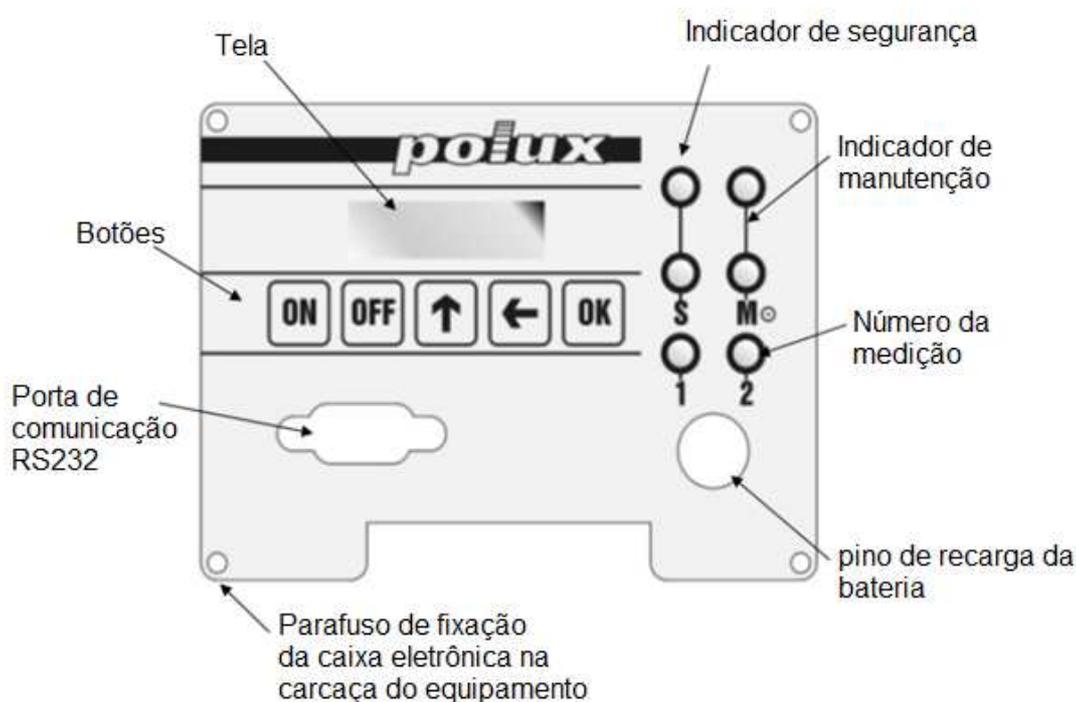
- 1 catraca para reparar o dispositivo no poste
- 1 correia
- 1 conjunto de bateria de lítio recarregável tensão 3 Volts
- 1 cabo RS232 para transferência de dados

Antes do primeiro uso do dispositivo, recomenda-se carregar inteiramente as baterias (durante aproximadamente 3 horas).

O software *K-store* e *Psion Work about* são oferecidos opcionalmente com o equipamento, o primeiro é o *software* para transferência e a análise de dados coletados em campo, o segundo é um computador de mão para auxiliar o levantamento de dados em campo, que para funcionar precisa do software *Picus*, que também é oferecido como opcional pelo fabricante.

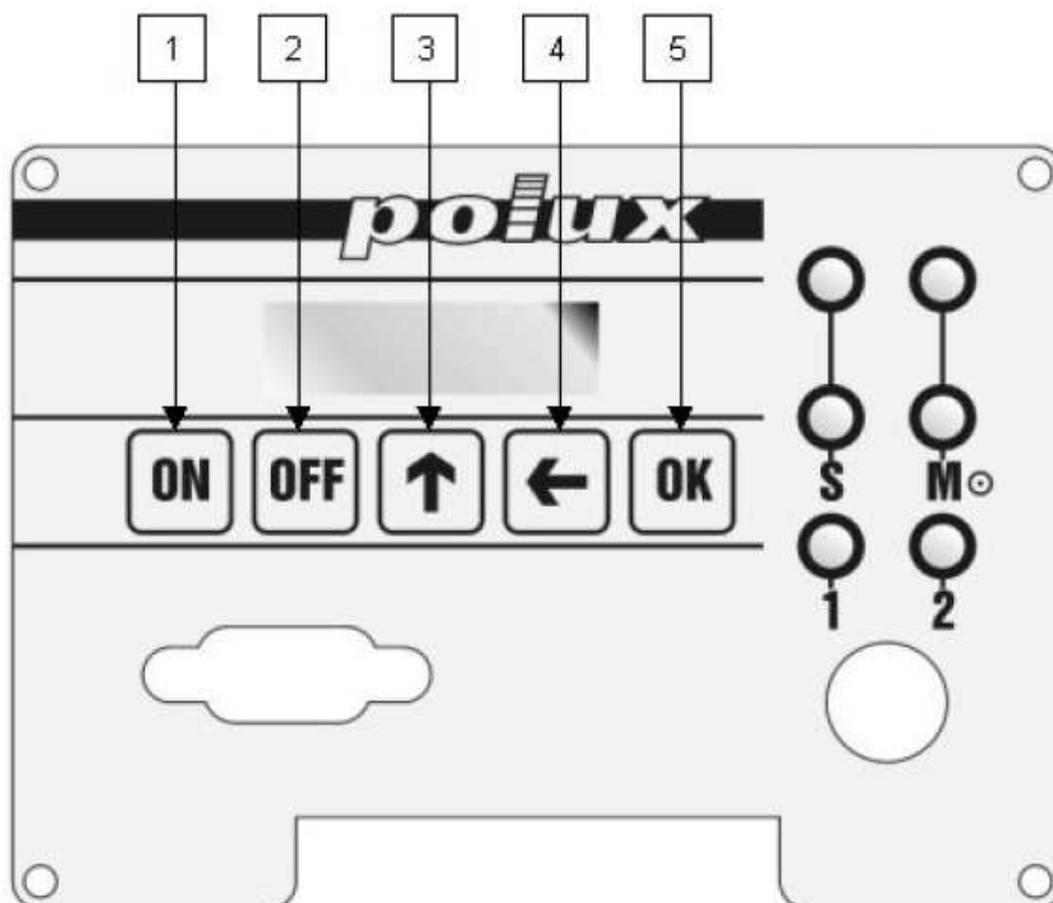
Quando um dispositivo é entregue este é configurado para o país em que será usado. Certamente, cada país tem sua própria espécie, seus próprios tratamentos e seus próprios padrões. Assim, um dispositivo configurado para um país “A” não pode ser usado em um país “B”.

Junto com o dispositivo são disponibilizadas duas agulhas para uso imediato e mais duas agulhas extras, alojadas em compartimento específico no interior do dispositivo.



Na parte frontal, há disponíveis duas conexões externas, uma para a porta serial RS232 com a finalidade de conectar o dispositivo higrodensimétrico a um notebook ou computador e a outra para o carregador das baterias.

Descrição do teclado:



- 1: Liga
- 2: Desliga
- 3: Seta acima, para incrementar uma unidade
- 4: Seta esquerda, para mover o cursor esquerdo
- 5 Tecla OK, válida uma escolha

1-2 As peças diferentes do dispositivo

O dispositivo de dispositivo hidrodensimétrico é composto por três porções principais:

- A caixa eletrônica: Local onde se localiza toda parte eletrônica do equipamento, placas de circuitos, processadores de dados, memórias.

- O cárter central: Carcaça metálica em alumínio permitindo a instalação do dispositivo no poste. A caixa eletrônica é parafusada nesta parte, e as baterias principais do dispositivo localizam-se no interior desse componente.
- O cárter inferior: Carcaça em alumínio que protege a parte mecânica do dispositivo, nela encontram-se alojadas as agulhas, sensores de umidade e de carga.

1-3 Garantia do dispositivo Polux ®

Dispositivo higródensimétrico tem uma garantia de seis meses ou de 3.000 medidas a contar da sua data de entrega. Naturalmente, todo o dano causado por mau uso do dispositivo ou acidental, não está coberto pela garantia.

Dois menus estão disponíveis no software de Polux ®:

- O menu da “medida”
- O menu do “usuário”

Cada vez que o dispositivo é ligado, o equipamento posiciona-se no *menu* de medida. Para comutar o dispositivo do *menu* da medida ao de usuário, apenas pressione a tecla 4 durante cinco segundos.

Dentro do *menu*, use as setas (teclas 3 e 4) para selecionar e (tecla 5) para validar.

2-1 O *menu* da medida

Quando o dispositivo é ligado, este *menu* aparece para configurar a medida, sendo:

a- Identificação do poste:

Inserir-se o número do poste; para isso use as teclas 3 e 4. São disponibilizados três caracteres para identificar o poste. Ou seja, de 000 a 999.

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
P	o	l	e	n	u	m	b	e	r			

N.B.: Esta etapa pode ser omitida se o inspetor usa o Picus.

b- Tratamento de Poste:

Para seleccionar o tratamento, use a tecla 3 quando o cursor propor o número do programa e a tecla 4 para movimentar o cursor do item anterior para esse.

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
P	r	o	g	r	a	m	n	u	m	b	e	r

c- Parâmetro do usuário:

Um carácter livre está disponível para o inspetor. Este parâmetro não é tomado em consideração nos resultados (por favor, anote que o carácter “z” não pode ser utilizado).

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
U	s	e	r	l	e	t	t	e	r			

Depois da validação destes parâmetros com a tecla 5, o dispositivo espera a primeira medida.

d- 1ª indicação da medida:

O dispositivo espera a primeira medida: a indicação luminosa da medida número 1 é acesa, tão logo o processamento das informações seja feita pelo equipamento.

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
M	e	a	s	u	r	e	1					

e- Resultado da 1ª medida:

As escalas da segurança e da manutenção dão a seus resultados aparecimentos às luzes coloridas de acordo com a primeira medida.

		A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
R	e	s	u	l	t	m	e	a	s	u	r	e	1

f- 1ª indicação da medida: O dispositivo espera a segunda medida: a indicação luminosa da medida número 2 está ligada.

		A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
M	e	a	s	u	r	e	2						

g- Resultado da 2ª medida:

As escalas de segurança e de manutenção dão a seus resultados com aparecimento das luzes coloridas de acordo com a segunda medida.

		A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
R	e	s	u	l	t	m	e	a	s	u	r	e	2

h- Resultado final:

As escalas de segurança e de manutenção dão a seus resultados com aparecimento das luzes coloridas de acordo com ambos: a 1ª e 2ª medida.

		A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
M	e	a	n	r	e	s	u	l	t				

Mensagens de erro:

O dispositivo dá uma mensagem de erro quando algo errado acontece. Esta mensagem de erro é acompanhada dos sinais acústicos ao inspetor:

a- Posição da alavanca telescópica:

Se a alavanca telescópica não está sua posição inicial antes que uma medida não esteja retornada corretamente após uma medida, o dispositivo dá a seguinte mensagem:

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
M	a	n	c	h	e	H	a	n	d	l	e	

Neste caso, o inspetor tem que retornar a alavanca telescópica à sua posição inicial.

b- Medida da carga; < 20 kg

Se a força medida é mais baixa do que 20 kg, o dispositivo recusa a medida e aparece a seguinte mensagem:

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
F	o	r	c	e	<	2	0	K	g	!		

c- Medida da carga; >320 kg

Se a carga medida é mais elevada do que 320 kg, o dispositivo alerta o inspetor para verificar se não está medindo em um nó. Se não, a medida é válida.

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
F	o	r	c	e	>	3	2	0	K	g	!	

d- Carga inicial: Isto pode acontecer quando uma carga inicial é aplicada no dispositivo antes de toda a medida.

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1
E	r	r	o	r		F	o	r	c	e	!

Isto significa que o dispositivo está demasiadamente fixado no poste, principalmente se o poste for fraco. O inspetor tem que reinstalar o dispositivo no poste. Se esta mensagem aparece todo o tempo (mesmo sem alguma carga), esta significa que o sensor da carga está danificado e deve ser substituído.

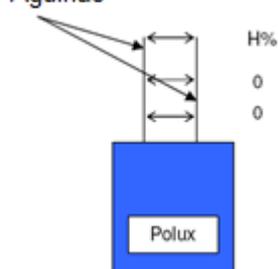
e- Índice de baixa umidade:

Se o dispositivo apresenta o índice de umidade com valor muito baixo, com mínimo 17%,o equipamento avisa com uma mensagem na tela:

	A	P	r	:	0	P	o	:	0	0	1	
H	u	m	i	d	i	t	e	a	1	7	%	!

Isto não impede do inspetor de tomar a medida: alguns climas secos permitem este baixo valor do índice de umidade nos postes de madeira. Mas se a mensagem aparece todo o tempo, isto significa que os pinos não estão isolados, dessa forma é necessário verificar a isolação das agulhas com um ohmímetro.

2-2 Menu do Agulhas usuário



Este *menu* específico tem os seguintes objetivos:

- Transferir os dados ao software *K-store*
- Suprimir os dados conservados no Polux®

- Configurar alguns parâmetros do dispositivo
- Dê a data e a hora
- Dê o estado da bateria de lítio

Lembre: Para entrar no *menu* de usuário, o usuário tem que pressionar a tecla 4 durante cinco segundos. Para retirar, apenas desligue o dispositivo.

a- Transferência de dados Isto permite que o usuário transfira os dados coletados no dispositivo higrodensimétrico a um PC (através de *K-store*)

			U	1	:	.	.	.	.	.	.
T	r	a	n	s	f	e	r		d	a	t	a		

Confirmando com a tecla5, a seguinte mensagem aparece:

			U	1	:				
W	a	i	t	i	n	g		f	o	r		c	o	d	e

O dispositivo espera que o usuário transfira os dados do PC, através de *K-store*. O sucesso de transferência é confirmado pelo dispositivo higrodensimétrico pela seguinte mensagem:

			U	1	:	.	.	.	.	.	.
T	r	a	n	s	f	e	r		O	K				

Então o dispositivo desliga automaticamente.

Mensagens de erro:

Se o código transferido pelo *K-store* não é o código esperado pelos dispositivos, a seguinte mensagem aparece:

			U	1	:	.	.	.	.	.	.
E	r	r	o	r		c	o	d	e	!				

O código válido deve ser selecionado em *K-store* modificando o número de Polux®.

K-store é entregue com os códigos do dispositivo hidrodensimétrico que pertencem à companhia. Cada dispositivo tem seu próprio código.

Se a memória do dispositivo está vazia, a seguinte mensagem aparece:

			U 1 :	.	.	.	.	.	.
E	m	p	t	y		m	e	m	o	r	y

b- Cancelamento dos dados

Esta opção suprime de todos os dados armazenados em Polux®. Atenção: Após a confirmação, todos os dados serão perdidos definitivamente!

			U 2 :	.	.	.	.	.	.
D	e	l	e	t	e		d	a	t	a	

Para confirmar, pressione a tecla 5. Uma mensagem de confirmação

			U 2 :	.	.	.	.	.	.
			U 2 :	.	.	.	.	.	.
C	a	n	c	e	l	.	.	.	.	.	.

Se qualquer outra chave é pressionada, a ação está cancelada.

Mas se a ação é confirmada, a seguinte mensagem aparece:

			U 2 :	.	.	.	.	.	.
E	m	p	t	y		m	e	m	o	r	y

Todos os dados são apagados. A medida seguinte será a medida número 1.

c- Luz da tela:

			U 3 :	.	.	.	.	.	.
L	i	g	h	t	s	c	r	e	e	n	

Esta opção reserva:

- Luz permanentemente a tela:

			U 3 :	.	.	.	.	.	.
A	I	w	a	y	s	O	N				

- Ilumine a tela quando uma chave é pressionada:

			U 3 :	.	.	.	.	.	.
K	e	y	p	r	e	s	s	e	d		

- Deixe sempre a tela interromper:

			U 3 :	.	.	.	.	.	.
A	I	w	a	y	s	O	F	F			

A seleção é feita com a tecla 5.

d- Som do teclado

Esta opção reserva ativar ou desativar os sons do teclado quando uma chave é pressionada.

			U 4 :			
S	o	u	n	d	k	e	y	b	o	a	r	d

As possibilidades diferentes são as seguintes:

- Silêncio

- Som

			U 4 :	.	.	.	.	.	.
S	i	l	e	n	c	e					

			U 4 :	.	.	.	.	.	.
B	i	p	o	n	k	e	y				

A seleção é feita com a tecla 5.

a- Leitura do pulso de disparo

Esta opção reserva ler o pulso de disparo interno do Polux ®:

			U 5 :	.	.	.	.	.	.
R	e	a	d	c	l	o	c	k			

Se a tecla5 é pressionada, a data e a hora estão indicadas:

			U 5 :						
M	o	0	2	/	0	4	/	0	1	-	1	4	:	0	5

Para mudar o pulso de disparo, entre em contato com o fornecedor.

f- Carga da bateria de lítio

A bateria de lítio conserva o ósmio interno do Polux ®. Esta bateria deve ser carregada todos os seis meses dos agradecimentos ao fornecedor do poder entregue com o dispositivo.

Dispositivo higrodensimétrico alerta o usuário quando a bateria de lítio deve ser carregada.

			U 6 :					
C	h	a	r	g	e	L	i	t	h	i	u	m		

O dispositivo menciona a data da última carga.

			U 6 :					
d	a	t	e	:	L	u	0	2	/	0	4	/	0	1

Se a data indicada é próxima a seis meses da data real, a carga é possível. O dispositivo menciona o tempo necessário para carregar a bateria de lítio e para pedir a confirmação:

				U	6	:	.	.	.	.	.	.
T	i	m	e	:	8	h	o	u	r	s				

				U	6	:	.	.	.	.	.	.
C	h	a	r	g	e	O	K	?						

Se qualquer outra chave além da chave 5 é pressionada, a carga está cancelada.

				U	6	:	.	.	.	.	.	.
C	a	n	c	e	l	e	d	.	.					

Durante a carga, a evolução do nível de carga pode ser observada:

		C	h	a	r	g	e	L	i	t	h	i	u	m
L	e	v	e	l	:	0	2	5	.	1	2	%		

3- Medindo com Polux®

Geralmente, duas medidas são necessárias para o poste.

Estas medidas são sempre no máximo do ponto crítico feito do poste de madeira, na linha nível à terra por exemplo se o poste é encaixado diretamente na terra. Os casos mais comuns encontrados em campo são relacionados na sequência no item “instalação do dispositivo de Polux®”.

Efetuada a medida:

1. Instale o dispositivo no poste prendendo com a cinta tracionando com a catraca. Use os quatro pontos de aço para posicionar o melhor possível o dispositivo no poste.

2. Ligue o dispositivo, pressionando a tecla *ON*

3. Ajuste o número do poste (incrementando a posição com tecla 3 e alterando a unidade com a tecla 4).

4. Ajuste o número do programa (movimentando o cursores através da tecla 3, sendo 0 para creosoto e 2 para CCA).

5. Ajuste o caráter livre se necessário (tecla 3).

6. Certifique que a alavanca telescópica esteja em sua posição original, que é totalmente fechada e perpendicular ao solo.

7. Com a tecla 5 aceite os parâmetros de entrada.

8. Puxe para cima a alavanca telescópica o máximo permitido e movimente-a para baixo, formando um ângulo próximo de 45° com a linha de solo. Desta forma as agulhas penetraram no poste de madeira.

9. Aguarde o processamento da leitura pelo equipamento.

10. Uma vez realizados os resultados da primeira medição, retorne a alavanca telescópica de volta a sua posição original.

11. Instale o dispositivo na outra face do poste, preferencialmente defasado 180° da medida anterior, procedendo igualmente ao item 1 dessa relação.

12. Realize os passos de 8 a 10 novamente.

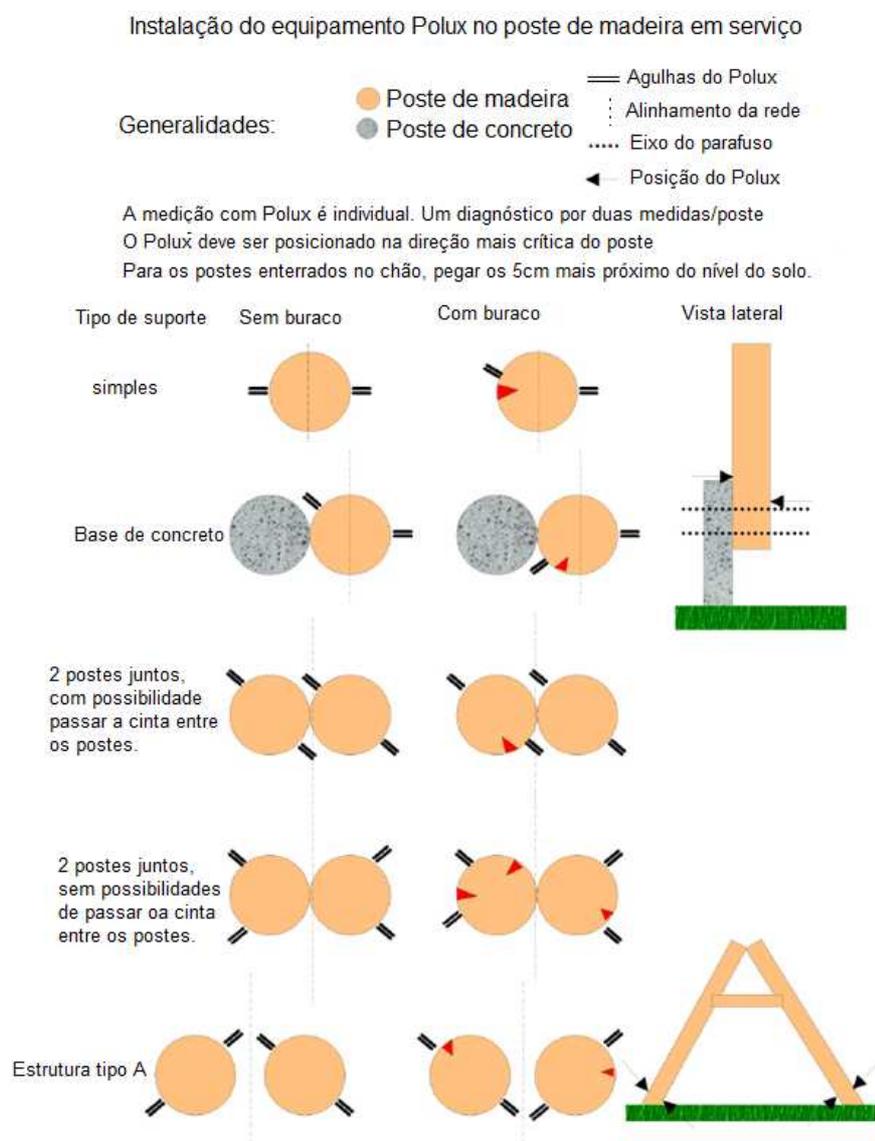
13. Uma vez que os resultados da segunda medição sejam indicados, volte a alavanca à sua posição original.

14. O dispositivo pode ser desprendido das cintas.

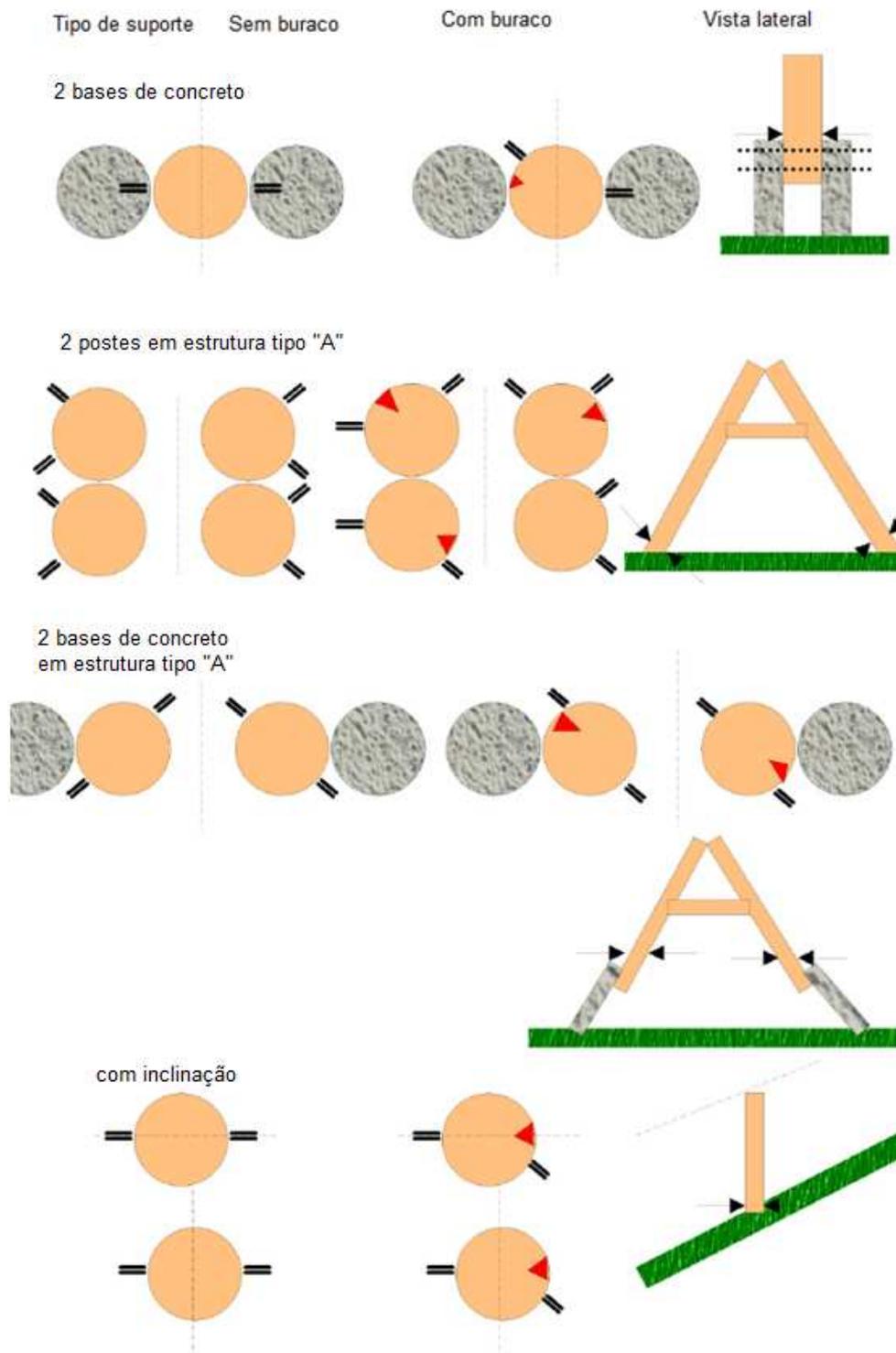
15. O dispositivo indica o resultado final, através dos indicadores luminosos.

* Se um computador tipo *handheld* for usado, sua conexão ao Polux® deve ser efetuada pelo menos depois de etapa 11, antes de acionar a alavanca que crava as agulhas no poste.

A instalação do dispositivo de Dispositivo higrodensimétrico no poste:



As seguintes ilustrações explicam os principais casos encontrados no campo:



4 - Manutenção do Polux ®

O Dispositivo higrodesimétrico é um aparelho para um uso ao ar livre. Conseqüentemente é o assunto de muitos confinamentos mecânicos ou climáticos.

Para assegurar uma confiabilidade melhor do dispositivo e ampliar sua expectativa do tempo da vida, alguns pontos podem ser verificados.

Além de evitar impactos mecânicos, choques de temperatura não são recomendados. Dispositivo higrodensimétrico pode ser usado quando está chovendo, mas o dispositivo deve ser limpo.

Verificar os parafusos no caráter mais baixo, e limpe todas as peças mecânicas cada semana.

Os pinos devem ser mudados quando freiam ou quando a isolamento não é eficiente. A isolamento pode ser verificada uma vez por a semana.

Os guias de Teflon que conduzem corretamente os pinos no poste devem ser mudados assim que não assegurarem sua função.

Se os guias do Teflon são mantidos longos tempos, a expectativa do tempo da vida dos pinos diminui. Uma correia com demasiado creosoto nela torna-se frágil. Recomenda-se então para ter uma correia de reposição perto do equipamento durante um deslocamento.

O dispositivo é calibrado antes de sua entrega (sensor da carga e medidor satisfeito de umidade). Como todo o dispositivo da metrologia, recomendou para calibrar uma vez por ano.

5- Características técnicas da escala para Polux ®

Temperatura do Dispositivo higrodensimétrico uso: 0°C - 45°C

Baterias recomendadas:

Quantidade: 4

Tipo: Ni/Cd (1.2 V / 2.2 Ah)

Supplier: SAFT

Model: VE C 2200-CFG

Autonomia do uso:

10 horas (com as baterias recomendadas)

Desligamento automático do dispositivo:

Primeiro caso: se a tensão das baterias é < 2.5 V:

Segundo caso: após uma medida completa

Terceiro caso: se nenhuma ação é tomada após 5 minutos

Duração da carga:

3 horas se Dispositivo higrodensimétrico é desligado. Desligar automático da carga após a corrente de 264 minutos da carga: 750 miliampéres.

Sistema alternativo de dados:

Bateria de Lítio recarregável tensão: $3V \pm 0.15V$ Capacidade: 7mAh, número máximo de cargas: 1 ' duração 000 de uma carga: 8 horas

Modalidades para a carga do lítio:

Primeiro caso: Impossível se a última carga não é mais tarde de 150 dias;

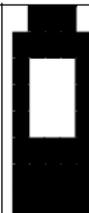
Segundo caso: Urgente se último está mais atrasado de 180 dias. Neste caso, uma mensagem do específico alerta o usuário cada vez que liga o dispositivo;

Terceiro caso: Autorizado se a última carga se realiza entre 150 e 180 dias da data real.

Memória dos dados:

Importante: A memória é um sistema cíclico, quando a memória está cheia, as novas medidas substituem as primeiras. Recomenda-se transferir os dados do dispositivo para o computador antes de alcançar a capacidade máxima da memória de Dispositivo higrodensimétrico - 1.000 leituras.

Explicação dos ícones da bateria (na esquerda da primeira linha da exposição no *menu* da medida).

Battery icon							
Level of charge	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
Autonomy	1mn 28s	4mn 25s	9mn 6s	35 mn	2h 43mn 25s	4h 30mn 55s	15 mn

Estas autonomias referem-se ao caso mais crítico, cujas luzes estão ligadas, a exposição está ligada, a campainha elétrica está ligada, em todo período de uso.

Na realidade, no campo, a garantia da autonomia um o mínimo de uso do dispositivo de 90 postes por o dia durante três dias.

ANEXO C – Tabela completa com os resultados dos testes com Dispositivo higrodensimétrico nos postes de madeira.

Date	Nº Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
16/09/2009	1	0	203	88	66	617	V	VC	155	72	89	450	V	VC	V	VC
16/09/2009	2	0	107	85	71	324	V	VC	83	111	35	288	V	V	V	VC
02/10/2009	10	2	151	115	34	33362	V	V	117	153	29	25712	VC	VC	V	V
16/10/2009	10	2	73	37	140	15812	R	R	14	25	157	2537	R	R	R	R
02/10/2009	11	2	170	105	42	37637	V	V	149	85	71	32912	V	V	V	V
16/10/2009	21	2	225	37	140	50012	V	V	168	40	136	37187	V	V	V	V
16/10/2009	23	2	162	20	165	35837	V	V	179	66	98	39662	V	V	V	V
16/10/2009	24	2	99	48	124	21662	RC	RC	94	56	113	20537	RC	RC	RC	RC
16/10/2009	26	2	114	77	82	25037	VC	VC	119	59	108	26162	VC	V	VC	VC
16/10/2009	27	2	227	68	95	50462	V	V	254	66	98	56537	V	V	V	V
16/10/2009	28	2	173	82	75	38312	V	V	233	78	81	51812	V	V	V	V
16/10/2009	29	2	254	41	134	56537	V	V	254	34	144	56537	V	V	V	V
16/10/2009	30	2	254	53	117	56537	V	V	251	58	110	55862	V	V	V	V
16/10/2009	31	2	254	53	117	56537	V	V	254	59	108	56537	V	V	V	V
16/10/2009	35	2	218	27	154	48437	V	V	254	25	157	56537	V	V	V	V
16/10/2009	36	2	254	44	130	56537	V	V	254	59	108	56537	V	V	V	V
16/10/2009	37	2	68	18	167	14687	R	R	154	46	127	34037	V	V	R	R
16/10/2009	38	2	185	61	105	41012	V	V	158	61	105	34937	V	V	V	V
16/10/2009	39	2	254	49	123	56537	V	V	254	61	105	56537	V	V	V	V
16/10/2009	40	2	254	46	127	56537	V	V	237	21	163	52712	V	V	V	V
26/11/2009	41	2	189	53	117	41912	V	V	195	61	105	43262	V	V	V	V
26/11/2009	42	2	254	27	154	56537	V	V	254	33	146	56537	V	V	V	V
26/11/2009	43	2	254	41	134	56537	V	V	182	39	137	40337	V	V	V	V
26/11/2009	44	2	254	62	104	56537	V	V	254	50	121	56537	V	V	V	V
26/11/2009	45	0	254	94	58	778	V	VC	254	84	72	764	V	VC	V	VC

26/11/2009	46	2	254	42	133	56537	V	V	254	42	133	56537	V	V	V	V
26/11/2009	47	0	171	81	76	511	V	VC	152	49	123	407	V	RC	V	VC
26/11/2009	48	2	103	91	62	22562	RC	VC	126	86	69	27737	VC	V	VC	VC
26/11/2009	49	0	186	41	134	498	V	RC	218	40	136	592	V	RC	V	RC
26/11/2009	50	0	192	47	126	524	V	RC	254	68	95	741	V	VC	V	VC
26/11/2009	51	0	163	186	25	538	V	V	163	81	76	487	V	VC	V	V
26/11/2009	52	2	209	96	55	46412	V	V	206	85	71	45737	V	V	V	V
26/11/2009	53	0	246	68	95	717	V	VC	171	111	35	552	V	V	V	VC
26/11/2009	54	2	254	26	156	56537	V	V	254	36	141	56537	V	V	V	V
26/11/2009	55	2	241	64	101	53612	V	V	222	39	137	49337	V	V	V	V
26/11/2009	56	0	254	50	121	715	V	RC	217	48	124	601	V	RC	V	RC
26/11/2009	57	0	214	80	78	638	V	VC	170	73	88	496	V	VC	V	VC
26/11/2009	58	0	254	87	68	768	V	VC	219	74	87	644	V	VC	V	VC
26/11/2009	60	2	123	74	87	27062	VC	V	220	103	45	48887	V	V	V	V
26/11/2009	61	2	239	54	115	53162	V	V	239	80	78	53162	V	V	V	V
26/11/2009	62	2	193	142	31	42812	V	V	155	100	49	34262	V	V	V	V
26/11/2009	63	2	108	131	32	23687	VC	VC	200	112	34	44387	V	V	V	V
26/11/2009	64	2	214	76	84	47537	V	V	140	63	102	30887	V	V	V	V
26/11/2009	65	2	123	110	35	27062	VC	V	91	114	34	19862	RC	RC	VC	VC
26/11/2009	66	0	254	61	105	731	V	VC	175	126	33	566	V	V	V	VC
26/11/2009	67	0	38	66	98	90	R	R	27	40	136	19	R	R	R	R
26/11/2009	68	2	172	255	17	38087	V	V	250	48	124	55637	V	V	V	V
26/11/2009	69	0	232	81	76	694	V	VC	204	87	68	618	V	VC	V	VC
26/11/2009	70	2	174	43	131	38537	V	V	123	59	108	27062	VC	V	V	V
26/11/2009	71	2	203	80	78	45062	V	V	177	84	72	39212	V	V	V	V
26/11/2009	72	0	161	86	69	488	V	VC	159	46	127	424	V	RC	V	VC
21/01/2010	74	0	254	85	71	765	V	VC	236	93	59	723	V	VC	V	VC
21/01/2010	75	2	132	90	63	29087	V	V	138	82	75	30437	V	V	V	V
21/01/2010	75	2	102	51	120	22337	RC	VC	159	86	69	35162	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
21/01/2010	76	2	133	89	65	29312	V	V	116	100	49	25487	VC	VC	VC	V
21/01/2010	77	2	254	45	128	56537	V	V	223	80	78	49562	V	V	V	V
21/01/2010	78	0	53	60	107	126	R	R	65	81	76	193	RC	RC	R	R
21/01/2010	79	2	110	69	94	24137	VC	VC	109	56	113	23912	VC	VC	VC	VC
21/01/2010	80	2	102	101	48	22337	RC	VC	63	74	87	13562	R	R	R	R
21/01/2010	81	2	100	92	61	21887	RC	RC	80	142	31	17387	RC	RC	RC	RC
21/01/2010	82	2	102	90	63	22337	RC	VC	107	74	87	23462	VC	VC	RC	VC
21/01/2010	83	2	201	68	95	44612	V	V	156	79	79	34487	V	V	V	V
21/01/2010	84	0	67	255	17	258	VC	VC	30	255	17	147	R	R	R	R
21/01/2010	85	0	254	71	91	745	V	VC	240	66	98	696	V	VC	V	VC
21/01/2010	86	2	33	11	178	6812	R	R	199	37	140	44162	V	V	R	R
21/01/2010	87	2	220	45	128	48887	V	V	153	31	149	33812	V	V	V	V
21/01/2010	88	2	133	78	81	29312	V	V	104	80	78	22787	RC	VC	VC	V
21/01/2010	89	0	243	87	68	735	V	VC	229	105	42	719	V	V	V	VC
21/01/2010	90	2	184	164	28	40787	V	V	239	135	32	53162	V	V	V	V
21/01/2010	91	0	177	148	30	575	V	V	147	255	17	498	V	V	V	V
21/01/2010	92	0	123	16	170	273	VC	RC	110	18	167	237	VC	RC	VC	RC
21/01/2010	93	0	254	74	87	749	V	VC	197	141	31	634	V	V	V	VC
21/01/2010	94	0	218	80	78	650	V	VC	254	86	69	767	V	VC	V	VC
21/01/2010	96	2	134	160	29	29537	V	V	193	110	35	42812	V	V	V	V
21/01/2010	97	2	234	69	94	52037	V	V	254	55	114	56537	V	V	V	V
21/01/2010	98	2	153	70	92	33812	V	V	172	71	91	38087	V	V	V	V
21/01/2010	99	0	192	161	28	622	V	V	252	102	46	784	V	V	V	V
21/01/2010	100	0	146	128	32	480	V	V	219	43	131	600	V	RC	V	VC
21/01/2010	101	2	136	92	61	29987	V	V	166	67	97	36737	V	V	V	V
21/01/2010	102	0	182	132	32	588	V	V	196	158	29	633	V	V	V	V
21/01/2010	103	0	254	81	76	760	V	VC	252	124	33	797	V	V	V	VC

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
21/01/2010	104	2	229	82	75	50912	V	V	95	112	34	20762	RC	RC	V	V
04/05/2010	105	0	254	93	59	777	V	VC	254	75	85	751	V	VC	V	VC
04/05/2010	106	2	254	68	95	56537	V	V	254	49	123	56537	V	V	V	V
04/05/2010	107	0	208	53	117	581	V	VC	254	67	97	739	V	VC	V	VC
04/05/2010	108	0	254	44	130	706	V	RC	254	54	115	721	V	VC	V	RC
04/05/2010	109	0	254	61	105	731	V	VC	254	62	104	732	V	VC	V	VC
04/05/2010	110	0	138	118	34	454	V	V	254	101	48	788	V	V	V	V
04/05/2010	111	0	254	46	127	709	V	RC	249	71	91	730	V	VC	V	VC
04/05/2010	112	0	169	143	31	550	V	V	248	102	46	772	V	V	V	V
04/05/2010	113	0	254	79	79	757	V	VC	75	95	56	243	VC	VC	V	VC
04/05/2010	114	0	195	78	81	578	V	VC	180	66	98	516	V	VC	V	VC
04/05/2010	115	0	233	45	128	645	V	RC	244	81	76	730	V	VC	V	VC
04/05/2010	116	2	254	35	143	56537	V	V	152	8	182	33587	V	V	V	V
04/05/2010	118	2	195	48	124	43262	V	V	169	39	137	37412	V	V	V	V
04/05/2010	119	0	80	82	75	239	VC	VC	94	76	84	272	VC	VC	VC	VC
04/05/2010	120	2	243	54	115	54062	V	V	254	69	94	56537	V	V	V	V
04/05/2010	121	2	254	74	87	56537	V	V	254	46	127	56537	V	V	V	V
04/05/2010	122	2	162	255	17	35837	V	V	191	41	134	42362	V	V	V	V
04/05/2010	123	0	159	102	46	505	V	V	189	70	92	549	V	VC	V	VC
04/05/2010	124	0	190	72	89	555	V	VC	254	68	95	741	V	VC	V	VC
14/05/2010	125	2	57	43	131	12212	R	R	54	47	126	11537	R	R	R	R
14/05/2010	126	2	72	24	159	15587	R	R	74	44	130	16037	RC	RC	R	R
14/05/2010	127	2	52	74	87	11087	R	R	65	38	139	14012	R	R	R	R
14/05/2010	128	2	254	35	143	56537	V	V	254	34	144	56537	V	V	V	V
14/05/2010	129	2	52	36	141	11087	R	R	162	44	130	35837	V	V	R	R
14/05/2010	130	2	100	128	32	21887	RC	RC	240	47	126	53387	V	V	V	V
14/05/2010	131	2	254	51	120	56537	V	V	191	47	126	42362	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
14/05/2010	132	2	50	35	143	10637	R	R	50	106	40	10637	R	R	R	R
14/05/2010	133	2	82	88	66	17837	RC	RC	121	83	74	26612	VC	V	RC	VC
14/05/2010	134	0	225	89	65	684	V	VC	159	54	115	436	V	VC	V	VC
14/05/2010	135	0	254	59	108	728	V	VC	229	52	118	643	V	VC	V	VC
14/05/2010	136	2	32	24	159	6587	R	R	72	24	159	15587	R	R	R	R
14/05/2010	137	0	32	75	85	85	R	R	30	61	105	59	R	R	R	R
14/05/2010	138	2	8	48	124	1187	R	R	71	83	74	15362	R	R	R	R
14/05/2010	139	2	46	0	193	9737	R	R	94	40	136	20537	RC	RC	R	R
14/05/2010	140	2	254	81	76	56537	V	V	254	70	92	56537	V	V	V	V
14/05/2010	141	2	185	33	146	41012	V	V	126	78	81	27737	VC	V	V	V
14/05/2010	142	2	21	24	159	4112	R	R	234	27	154	52037	V	V	R	R
14/05/2010	143	2	222	58	110	49337	V	V	194	81	76	43037	V	V	V	V
14/05/2010	144	2	253	53	117	56312	V	V	123	28	153	27062	VC	V	V	V
14/05/2010	145	2	133	34	144	29312	V	V	173	24	159	38312	V	V	V	V
14/05/2010	146	2	52	68	95	11087	R	R	67	35	143	14462	R	R	R	R
14/05/2010	147	0	254	41	134	702	V	RC	254	41	134	702	V	RC	V	RC
14/05/2010	148	2	186	21	163	41237	V	V	201	15	172	44612	V	V	V	V
14/05/2010	149	2	41	48	124	8612	R	R	55	17	169	11762	R	R	R	R
14/05/2010	150	0	228	71	91	667	V	VC	176	88	66	536	V	VC	V	VC
14/05/2010	151	0	249	56	113	708	V	VC	254	59	108	728	V	VC	V	VC
14/05/2010	152	0	114	50	121	295	V	RC	250	101	48	776	V	V	V	VC
14/05/2010	153	0	254	73	88	748	V	VC	42	26	156	44	R	R	R	R
14/05/2010	154	0	139	71	91	400	V	VC	156	67	97	445	V	VC	V	VC
14/05/2010	155	0	254	50	121	715	V	RC	254	64	101	735	V	VC	V	VC
14/05/2010	156	0	254	57	111	725	V	VC	254	41	134	702	V	RC	V	RC
14/05/2010	157	2	254	34	144	56537	V	V	254	0	193	56537	V	V	V	V
14/05/2010	158	2	254	26	156	56537	V	V	254	34	144	56537	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
14/05/2010	159	2	10	10	179	1637	R	R	21	10	179	4112	R	R	R	R
14/05/2010	160	0	254	62	104	732	V	VC	192	68	95	555	V	VC	V	VC
14/05/2010	161	2	124	56	113	27287	VC	V	118	35	143	25937	VC	VC	VC	V
14/05/2010	162	2	129	58	110	28412	V	V	84	135	32	18287	RC	RC	VC	VC
14/05/2010	163	2	125	53	117	27512	VC	V	89	127	33	19412	RC	RC	VC	VC
14/05/2010	164	2	100	0	193	21887	RC	RC	116	0	193	25487	VC	VC	VC	VC
14/05/2010	165	2	133	28	153	29312	V	V	122	4	188	26837	VC	V	V	V
14/05/2010	166	0	160	60	107	447	V	VC	103	169	27	356	V	V	V	VC
14/05/2010	167	2	147	47	126	32462	V	V	103	86	69	22562	RC	VC	VC	V
14/05/2010	168	2	92	44	130	20087	RC	RC	105	67	97	23012	VC	VC	RC	RC
14/05/2010	169	2	123	58	110	27062	VC	V	157	74	87	34712	V	V	V	V
14/05/2010	170	2	137	69	94	30212	V	V	128	52	118	28187	V	V	V	V
14/05/2010	171	0	254	75	85	751	V	VC	254	68	95	741	V	VC	V	VC
14/05/2010	172	2	177	32	147	39212	V	V	197	26	156	43712	V	V	V	V
14/05/2010	173	2	105	81	76	23012	VC	VC	134	53	117	29537	V	V	VC	V
14/05/2010	174	2	154	100	49	34037	V	V	159	32	147	35162	V	V	V	V
14/05/2010	175	0	135	57	111	368	V	VC	254	84	72	764	V	VC	V	VC
14/05/2010	176	2	116	19	166	25487	VC	VC	89	50	121	19412	RC	RC	RC	VC
14/05/2010	177	2	254	67	97	56537	V	V	254	87	68	56537	V	V	V	V
14/05/2010	178	0	254	57	111	725	V	VC	254	80	78	758	V	VC	V	VC
14/05/2010	179	2	142	43	131	31337	V	V	225	32	147	50012	V	V	V	V
14/05/2010	180	2	123	83	74	27062	VC	V	130	90	63	28637	V	V	VC	V
14/05/2010	181	2	111	61	105	24362	VC	VC	132	69	94	29087	V	V	VC	V
29/05/2010	182	2	121	88	66	26612	VC	V	128	105	42	28187	V	V	VC	V
29/05/2010	183	0	254	71	91	745	V	VC	236	85	71	711	V	VC	V	VC
29/05/2010	184	0	241	5	186	611	V	RC	254	75	85	751	V	VC	V	RC
29/05/2010	185	0	254	61	105	731	V	VC	254	84	72	764	V	VC	V	VC

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
29/05/2010	186	0	254	51	120	716	V	VC	229	78	81	680	V	VC	V	VC
29/05/2010	187	2	36	244	18	7487	R	R	51	43	131	10862	R	R	R	R
29/05/2010	188	2	254	44	130	56537	V	V	211	24	159	46862	V	V	V	V
29/05/2010	189	2	254	47	126	56537	V	V	220	58	110	48887	V	V	V	V
29/05/2010	190	0	194	51	120	536	V	VC	254	55	114	722	V	VC	V	VC
29/05/2010	191	0	243	94	58	745	V	VC	230	65	100	664	V	VC	V	VC
29/05/2010	192	2	101	56	113	22112	RC	VC	42	76	84	8837	R	R	R	R
29/05/2010	193	2	248	55	114	55187	V	V	231	69	94	51362	V	V	V	V
29/05/2010	194	2	254	61	105	56537	V	V	254	64	101	56537	V	V	V	V
29/05/2010	195	0	224	63	102	644	V	VC	241	43	131	666	V	RC	V	VC
29/05/2010	196	0	21	53	117	20	R	R	81	59	108	209	RC	RC	R	R
29/05/2010	197	2	254	38	139	56537	V	V	254	39	137	56537	V	V	V	V
29/05/2010	198	2	254	39	137	56537	V	V	254	38	139	56537	V	V	V	V
29/05/2010	199	2	254	51	120	56537	V	V	254	56	113	56537	V	V	V	V
29/05/2010	200	0	254	39	137	699	V	RC	254	51	120	716	V	VC	V	RC
29/05/2010	201	0	244	43	131	675	V	RC	236	65	100	682	V	VC	V	VC
29/05/2010	202	2	141	255	17	31112	V	V	254	160	29	56537	V	V	V	V
29/05/2010	203	0	254	48	124	712	V	RC	254	70	92	744	V	VC	V	VC
29/05/2010	204	0	218	58	110	618	V	VC	198	74	87	581	V	VC	V	VC
29/05/2010	205	2	254	61	105	56537	V	V	254	73	88	56537	V	V	V	V
29/05/2010	206	0	26	97	53	99	R	R	73	228	20	273	VC	V	R	R
29/05/2010	207	0	254	47	126	710	V	RC	254	64	101	735	V	VC	V	VC
29/05/2010	208	2	219	52	118	48662	V	V	254	27	154	56537	V	V	V	V
29/05/2010	209	0	173	94	58	535	V	VC	254	61	105	731	V	VC	V	VC
29/05/2010	210	2	244	35	143	54287	V	V	254	54	115	56537	V	V	V	V
29/05/2010	211	2	254	73	88	56537	V	V	254	72	89	56537	V	V	V	V
29/05/2010	212	0	198	54	115	553	V	VC	188	55	114	524	V	VC	V	VC

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
29/05/2010	213	0	218	93	59	669	V	VC	233	59	108	665	V	VC	V	VC
29/05/2010	214	2	245	49	123	54512	V	V	174	118	34	38537	V	V	V	V
29/05/2010	215	0	254	110	35	801	V	V	254	84	72	764	V	VC	V	VC
10/06/2010	216	2	144	57	111	31787	V	V	134	57	111	29537	V	V	V	V
10/06/2010	217	2	187	70	92	41462	V	V	186	62	104	41237	V	V	V	V
10/06/2010	218	0	248	57	111	707	V	VC	225	47	126	623	V	RC	V	VC
10/06/2010	219	2	74	155	29	16037	RC	RC	151	84	72	33362	V	V	VC	VC
10/06/2010	220	2	81	40	136	17612	RC	RC	254	91	62	56537	V	V	V	V
10/06/2010	221	2	45	30	150	9512	R	R	13	127	33	2312	R	R	R	R
10/06/2010	222	0	254	51	120	716	V	VC	254	52	118	718	V	VC	V	VC
10/06/2010	223	0	26	71	91	61	R	R	191	65	100	547	V	VC	R	R
10/06/2010	224	0	153	109	36	497	V	V	238	88	66	722	V	VC	V	VC
10/06/2010	225	0	45	206	23	186	R	R	22	236	19	121	R	R	R	R
10/06/2010	226	0	10	48	124	-20	R	R	11	151	30	77	R	R	R	R
10/06/2010	227	0	233	42	133	640	V	RC	218	124	33	695	V	V	V	VC
10/06/2010	228	0	105	22	162	227	RC	RC	51	42	133	94	R	R	R	R
11/06/2010	229	0	125	94	58	391	V	VC	206	88	66	626	V	VC	V	VC
11/06/2010	230	2	133	37	140	29312	V	V	23	53	117	4562	R	R	R	R
11/06/2010	231	2	175	76	84	38762	V	V	117	136	31	25712	VC	VC	V	V
11/06/2010	232	0	246	35	143	669	V	RC	238	84	72	716	V	VC	V	VC
11/06/2010	233	2	198	74	87	43937	V	V	252	86	69	56087	V	V	V	V
11/06/2010	234	0	248	102	46	772	V	V	223	81	76	667	V	VC	V	VC
11/06/2010	235	2	37	255	17	7712	R	R	72	89	65	15587	R	R	R	R
11/06/2010	236	0	195	148	30	629	V	V	242	71	91	709	V	VC	V	VC
11/06/2010	237	0	229	70	92	669	V	VC	212	133	32	678	V	V	V	VC
11/06/2010	238	2	254	40	136	56537	V	V	247	31	149	54962	V	V	V	V
11/06/2010	239	2	190	45	128	42137	V	V	248	88	66	55187	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
11/06/2010	240	2	254	39	137	56537	V	V	200	26	156	44387	V	V	V	V
11/06/2010	241	2	80	36	141	17387	RC	RC	161	255	17	35612	V	V	VC	V
11/06/2010	242	0	188	100	49	589	V	V	176	140	31	571	V	V	V	V
11/06/2010	243	0	35	120	33	146	R	R	34	122	33	143	R	R	R	R
11/06/2010	244	2	59	105	42	12662	R	R	82	182	26	17837	RC	RC	R	R
11/06/2010	245	2	141	128	32	31112	V	V	138	24	159	30437	V	V	V	V
11/06/2010	247	2	137	82	75	30212	V	V	174	37	140	38537	V	V	V	V
11/06/2010	248	2	214	56	113	47537	V	V	254	35	143	56537	V	V	V	V
11/06/2010	249	0	254	61	105	731	V	VC	254	14	173	663	V	RC	V	RC
11/06/2010	250	0	254	59	108	728	V	VC	249	86	69	752	V	VC	V	VC
11/06/2010	251	0	196	58	110	552	V	VC	254	66	98	738	V	VC	V	VC
11/06/2010	252	2	245	79	79	54512	V	V	254	67	97	56537	V	V	V	V
11/06/2010	253	0	238	94	58	730	V	VC	117	251	17	408	V	V	V	V
11/06/2010	254	2	208	37	140	46187	V	V	254	44	130	56537	V	V	V	V
11/06/2010	255	2	175	79	79	38762	V	V	79	87	68	17162	RC	RC	VC	V
11/06/2010	256	2	92	130	32	20087	RC	RC	64	255	17	13787	R	R	R	R
11/06/2010	257	2	132	51	120	29087	V	V	187	43	131	41462	V	V	V	V
11/06/2010	258	0	120	59	108	326	V	VC	62	255	17	243	VC	VC	V	VC
11/06/2010	259	0	23	255	17	126	R	R	31	72	89	78	R	R	R	R
11/06/2010	260	2	85	77	82	18512	RC	RC	86	77	82	18737	RC	RC	RC	RC
11/06/2010	261	0	145	166	28	481	V	V	254	79	79	757	V	VC	V	VC
11/06/2010	262	0	254	6	185	651	V	RC	233	7	183	590	V	RC	V	RC
11/06/2010	263	2	254	44	130	56537	V	V	237	112	34	52712	V	V	V	V
11/06/2010	264	2	254	60	107	56537	V	V	254	83	74	56537	V	V	V	V
11/06/2010	265	0	254	90	63	773	V	VC	254	147	30	806	V	V	V	V
11/06/2010	266	2	157	61	105	34712	V	V	170	57	111	37637	V	V	V	V
11/06/2010	267	2	158	64	101	34937	V	V	182	111	35	40337	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
15/06/2010	268	2	239	39	137	53162	V	V	175	25	157	38762	V	V	V	V
15/06/2010	269	2	177	54	115	39212	V	V	152	54	115	33587	V	V	V	V
15/06/2010	270	0	224	79	79	667	V	VC	128	102	46	412	V	V	V	VC
15/06/2010	271	0	89	78	81	260	VC	VC	100	143	31	343	V	V	V	VC
15/06/2010	272	0	254	44	130	706	V	RC	254	49	123	713	V	RC	V	RC
15/06/2010	273	2	146	127	33	32237	V	V	173	83	74	38312	V	V	V	V
15/06/2010	274	2	99	0	193	21662	RC	RC	254	47	126	56537	V	V	V	V
15/06/2010	275	2	54	81	76	11537	R	R	254	52	118	56537	V	V	R	R
15/06/2010	276	2	154	55	114	34037	V	V	225	54	115	50012	V	V	V	V
15/06/2010	277	2	238	71	91	52937	V	V	209	32	147	46412	V	V	V	V
15/06/2010	278	0	177	26	156	449	V	RC	208	74	87	611	V	VC	V	RC
15/06/2010	279	2	83	152	30	18062	RC	RC	74	79	79	16037	RC	RC	R	R
15/06/2010	280	2	65	255	17	14012	R	R	54	124	33	11537	R	R	R	R
15/06/2010	281	2	236	15	172	52487	V	V	183	30	150	40562	V	V	V	V
15/06/2010	282	2	254	44	130	56537	V	V	121	24	159	26612	VC	V	V	V
15/06/2010	283	2	216	60	107	47987	V	V	254	23	160	56537	V	V	V	V
15/06/2010	284	2	95	23	160	20762	RC	RC	171	25	157	37862	V	V	V	V
15/06/2010	285	2	186	24	159	41237	V	V	101	7	183	22112	RC	VC	V	V
15/06/2010	286	2	89	28	153	19412	RC	RC	152	41	134	33587	V	V	VC	V
15/06/2010	287	2	133	42	133	29312	V	V	98	160	29	21437	RC	RC	VC	VC
15/06/2010	288	2	41	251	17	8612	R	R	72	65	100	15587	R	R	R	R
15/06/2010	289	2	140	38	139	30887	V	V	145	15	172	32012	V	V	V	V
15/06/2010	290	2	254	50	121	56537	V	V	17	149	30	3212	R	R	R	R
15/06/2010	291	0	215	0	193	526	V	RC	228	0	193	565	V	RC	V	RC
15/06/2010	292	2	159	30	150	35162	V	V	132	11	178	29087	V	V	V	V
15/06/2010	293	2	230	25	157	51137	V	V	159	7	183	35162	V	V	V	V
15/06/2010	294	0	74	76	84	212	RC	RC	84	68	95	231	VC	VC	RC	VC

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
15/06/2010	295	0	221	62	104	633	V	VC	224	56	113	633	V	VC	V	VC
15/06/2010	296	2	209	59	108	46412	V	V	164	55	114	36287	V	V	V	V
15/06/2010	297	0	225	50	121	628	V	RC	196	40	136	526	V	RC	V	RC
15/06/2010	298	0	230	27	154	610	V	RC	186	26	156	476	V	RC	V	RC
15/06/2010	299	0	254	59	108	728	V	VC	220	61	105	629	V	VC	V	VC
15/06/2010	300	0	112	85	71	339	V	VC	246	64	101	711	V	VC	V	VC
15/06/2010	301	0	254	62	104	732	V	VC	254	0	193	643	V	RC	V	RC
15/06/2010	302	0	126	100	49	403	V	V	254	88	66	770	V	VC	V	VC
15/06/2010	303	0	187	102	46	589	V	V	190	66	98	546	V	VC	V	VC
15/06/2010	304	2	164	29	152	36287	V	V	125	16	170	27512	VC	V	V	V
15/06/2010	305	2	195	21	163	43262	V	V	177	42	133	39212	V	V	V	V
15/06/2010	306	0	184	146	30	596	V	V	55	39	137	102	R	R	R	R
15/06/2010	307	2	181	35	143	40112	V	V	133	48	124	29312	V	V	V	V
15/06/2010	308	0	254	0	193	643	V	RC	254	51	120	716	V	VC	V	RC
15/06/2010	309	2	140	44	130	30887	V	V	211	52	118	46862	V	V	V	V
15/06/2010	310	2	152	89	65	33587	V	V	146	91	62	32237	V	V	V	V
15/06/2010	311	2	254	54	115	56537	V	V	225	64	101	50012	V	V	V	V
15/06/2010	312	0	172	114	34	556	V	V	39	48	124	67	R	R	R	R
15/06/2010	313	0	22	147	30	110	R	R	16	115	34	88	R	R	R	R
15/06/2010	314	0	254	33	146	690	V	RC	254	26	156	680	V	RC	V	RC
15/06/2010	315	0	254	58	110	726	V	VC	254	36	141	695	V	RC	V	RC
15/06/2010	316	2	146	47	126	32237	V	V	23	223	21	4562	R	R	R	R
15/06/2010	317	2	215	0	193	47762	V	V	187	7	183	41462	V	V	V	V
15/06/2010	318	2	142	87	68	31337	V	V	202	36	141	44837	V	V	V	V
15/06/2010	319	2	209	42	133	46412	V	V	175	45	128	38762	V	V	V	V
15/06/2010	320	2	133	62	104	29312	V	V	150	84	72	33137	V	V	V	V
15/06/2010	321	0	254	44	130	706	V	RC	151	255	17	510	V	V	V	VC

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
15/06/2010	322	2	106	255	17	23237	VC	VC	65	255	17	14012	R	R	R	R
15/06/2010	323	2	140	255	17	30887	V	V	112	255	17	24587	VC	VC	VC	V
15/06/2010	324	2	254	53	117	56537	V	V	133	98	52	29312	V	V	V	V
15/06/2010	325	2	224	23	160	49787	V	V	170	45	128	37637	V	V	V	V
15/06/2010	326	0	240	83	74	720	V	VC	205	152	30	659	V	V	V	VC
15/06/2010	327	2	81	94	58	17612	RC	RC	34	157	29	7037	R	R	R	R
15/06/2010	328	2	254	45	128	56537	V	V	254	48	124	56537	V	V	V	V
15/06/2010	329	2	200	9	180	44387	V	V	150	56	113	33137	V	V	V	V
15/06/2010	330	2	184	19	166	40787	V	V	111	35	143	24362	VC	VC	V	V
15/06/2010	331	2	62	108	38	13337	R	R	89	58	110	19412	RC	RC	R	R
15/06/2010	332	0	233	73	88	685	V	VC	107	102	46	349	V	V	V	VC
15/06/2010	333	2	99	67	97	21662	RC	RC	56	70	92	11987	R	R	R	R
15/06/2010	334	2	22	76	84	4337	R	R	51	46	127	10862	R	R	R	R
15/06/2010	335	0	254	87	68	768	V	VC	216	93	59	663	V	VC	V	VC
15/06/2010	336	0	10	255	17	87	R	R	46	59	108	104	R	R	R	R
15/06/2010	337	0	254	49	123	713	V	RC	254	69	94	742	V	VC	V	VC
15/06/2010	338	0	49	87	68	153	R	R	51	87	68	159	RC	RC	R	R
15/06/2010	339	2	111	0	193	24362	VC	VC	140	0	193	30887	V	V	VC	V
15/06/2010	340	0	146	100	49	463	V	V	126	102	46	406	V	V	V	V
15/06/2010	341	0	217	66	98	627	V	VC	254	46	127	709	V	RC	V	VC
15/06/2010	342	0	254	122	33	803	V	V	254	108	38	798	V	V	V	V
15/06/2010	343	2	122	86	69	26837	VC	V	99	119	34	21662	RC	RC	VC	VC
15/06/2010	344	2	138	34	144	30437	V	V	127	36	141	27962	VC	V	V	V
22/06/2010	345	2	199	0	193	44162	V	V	170	67	97	37637	V	V	V	V
22/06/2010	346	2	44	49	123	9287	R	R	14	35	143	2537	R	R	R	R
22/06/2010	347	2	99	57	111	21662	RC	RC	81	56	113	17612	RC	RC	RC	RC
22/06/2010	348	2	210	55	114	46637	V	V	219	54	115	48662	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
22/06/2010	349	0	111	183	26	381	V	V	208	181	26	672	V	V	V	V
22/06/2010	350	0	254	85	71	765	V	VC	254	127	33	803	V	V	V	VC
22/06/2010	351	2	77	176	27	16712	RC	RC	90	26	156	19637	RC	RC	R	R
22/06/2010	352	0	147	255	17	498	V	V	241	91	62	735	V	VC	V	V
22/06/2010	353	2	71	255	17	15362	R	R	72	84	72	15587	R	R	R	R
22/06/2010	354	2	44	145	30	9287	R	R	50	38	139	10637	R	R	R	R
22/06/2010	355	2	231	38	139	51362	V	V	236	18	167	52487	V	V	V	V
22/06/2010	356	0	254	141	31	805	V	V	240	136	31	763	V	V	V	V
22/06/2010	357	0	237	100	49	736	V	V	182	108	38	582	V	V	V	V
22/06/2010	358	0	81	255	17	300	V	V	98	255	17	351	V	V	V	V
22/06/2010	359	2	78	18	167	16937	RC	RC	115	73	88	25262	VC	VC	RC	RC
22/06/2010	360	0	165	159	29	540	V	V	162	47	126	434	V	RC	V	VC
22/06/2010	361	0	254	104	43	793	V	V	162	159	29	531	V	V	V	V
22/06/2010	362	0	188	126	33	605	V	V	254	154	29	807	V	V	V	V
22/06/2010	363	0	242	60	107	693	V	VC	47	65	100	115	R	R	R	R
22/06/2010	364	0	9	255	17	84	R	R	254	56	113	723	V	VC	R	R
22/06/2010	365	2	71	255	17	15362	R	R	48	198	24	10187	R	R	R	R
11/07/2010	367	2	92	150	30	20087	RC	RC	93	159	29	20312	RC	RC	RC	RC
11/07/2010	368	2	168	255	17	37187	V	V	183	255	17	40562	V	V	V	V
30/08/2010	370	0	254	40	136	700	V	RC	254	47	126	710	V	RC	V	RC
30/08/2010	371	0	237	23	160	625	V	RC	194	0	193	463	V	RC	V	RC
30/08/2010	372	0	246	6	185	627	V	RC	254	22	162	674	V	RC	V	RC
30/08/2010	373	2	11	42	133	1862	R	R	13	0	193	2312	R	R	R	R
30/08/2010	374	2	132	15	172	29087	V	V	189	53	117	41912	V	V	V	V
30/08/2010	375	0	129	120	33	428	V	V	138	68	95	393	V	VC	V	VC
30/08/2010	376	2	134	24	159	29537	V	V	23	6	185	4562	R	R	R	R
30/08/2010	377	0	193	15	172	481	V	RC	91	0	193	154	RC	R	R	R

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
30/08/2010	378	2	51	0	193	10862	R	R	54	0	193	11537	R	R	R	R
30/08/2010	379	0	212	84	72	638	V	VC	254	33	146	690	V	RC	V	VC
30/08/2010	380	2	131	0	193	28862	V	V	190	0	193	42137	V	V	V	V
30/08/2010	381	0	142	3	189	311	V	RC	141	62	104	393	V	VC	V	RC
30/08/2010	382	0	139	0	193	298	V	RC	254	2	191	645	V	RC	V	RC
30/08/2010	383	2	93	8	182	20312	RC	RC	75	0	193	16262	RC	RC	R	R
30/08/2010	384	2	222	65	100	49337	V	V	209	88	66	46412	V	V	V	V
30/08/2010	385	2	205	116	34	45512	V	V	228	128	32	50687	V	V	V	V
30/08/2010	386	2	81	108	38	17612	RC	RC	117	56	113	25712	VC	VC	RC	RC
30/08/2010	387	2	135	166	28	29762	V	V	129	44	130	28412	V	V	V	V
30/08/2010	388	2	249	45	128	55412	V	V	95	255	17	20762	RC	RC	V	V
30/08/2010	389	2	156	255	17	34487	V	V	53	255	17	11312	R	R	R	R
30/08/2010	390	2	65	255	17	14012	R	R	206	255	17	45737	V	V	R	R
30/08/2010	391	2	98	255	17	21437	RC	RC	51	255	17	10862	R	R	R	R
30/08/2010	392	2	95	255	17	20762	RC	RC	8	255	17	1187	R	R	R	R
30/08/2010	393	2	137	130	32	30212	V	V	140	85	71	30887	V	V	V	V
30/08/2010	394	0	254	98	52	784	V	VC	224	128	32	714	V	V	V	V
30/08/2010	395	0	236	71	91	691	V	VC	254	54	115	721	V	VC	V	VC
30/08/2010	396	0	254	155	29	807	V	V	239	124	33	758	V	V	V	V
30/08/2010	397	2	103	160	29	22562	RC	VC	102	104	43	22337	RC	VC	RC	VC
30/08/2010	398	2	123	49	123	27062	VC	V	70	186	25	15137	R	R	R	R
30/08/2010	399	2	48	75	85	10187	R	R	33	77	82	6812	R	R	R	R
30/08/2010	400	2	80	207	23	17387	RC	RC	93	103	45	20312	RC	RC	RC	RC
30/08/2010	401	0	254	51	120	716	V	VC	211	45	128	579	V	RC	V	RC
30/08/2010	402	0	228	68	95	663	V	VC	211	97	53	654	V	VC	V	VC
30/08/2010	403	0	204	96	55	631	V	VC	184	88	66	560	V	VC	V	VC
30/08/2010	404	2	254	151	30	56537	V	V	254	127	33	56537	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
30/08/2010	405	2	125	88	66	27512	VC	V	91	217	22	19862	RC	RC	VC	VC
30/08/2010	406	2	254	72	89	56537	V	V	182	29	152	40337	V	V	V	V
30/08/2010	407	0	153	142	31	502	V	V	228	69	94	664	V	VC	V	VC
30/08/2010	408	2	123	164	28	27062	VC	V	119	222	21	26162	VC	V	VC	V
30/08/2010	409	2	193	99	51	42812	V	V	247	115	34	54962	V	V	V	V
30/08/2010	410	0	221	93	59	678	V	VC	254	31	149	687	V	RC	V	VC
31/08/2010	411	2	140	74	87	30887	V	V	159	255	17	35162	V	V	V	V
31/08/2010	412	2	166	66	98	36737	V	V	244	50	121	54287	V	V	V	V
31/08/2010	413	2	247	231	20	54962	V	V	237	237	19	52712	V	V	V	V
31/08/2010	414	2	254	240	19	56537	V	V	254	178	26	56537	V	V	V	V
31/08/2010	415	0	111	29	152	255	VC	RC	152	49	123	407	V	RC	V	RC
31/08/2010	416	2	254	46	127	56537	V	V	130	90	63	28637	V	V	V	V
31/08/2010	417	0	248	78	81	737	V	VC	254	84	72	764	V	VC	V	VC
31/08/2010	418	2	119	129	32	26162	VC	V	201	96	55	44612	V	V	V	V
19/10/2010	422	2	154	97	53	34037	V	V	127	92	61	27962	VC	V	V	V
25/10/2010	423	2	29	108	38	5912	R	R	27	144	31	5462	R	R	R	R
25/10/2010	424	0	254	255	17	819	V	V	254	99	51	785	V	VC	V	V
25/10/2010	426	2	128	90	63	28187	V	V	136	117	34	29987	V	V	V	V
25/10/2010	427	2	179	57	111	39662	V	V	50	77	82	10637	R	R	R	R
25/10/2010	428	2	38	72	89	7937	R	R	120	79	79	26387	VC	V	R	R
25/10/2010	429	2	131	56	113	28862	V	V	121	3	189	26612	VC	V	VC	V
25/10/2010	430	2	63	43	131	13562	R	R	72	29	152	15587	R	R	R	R
25/10/2010	431	2	91	30	150	19862	RC	RC	147	45	128	32462	V	V	VC	V
25/10/2010	432	2	88	0	193	19187	RC	RC	13	18	167	2312	R	R	R	R
25/10/2010	433	2	114	49	123	25037	VC	VC	143	14	173	31562	V	V	V	V
25/10/2010	434	2	71	40	136	15362	R	R	55	68	95	11762	R	R	R	R
25/10/2010	435	2	60	102	46	12887	R	R	44	255	17	9287	R	R	R	R

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
25/10/2010	436	2	65	0	193	14012	R	R	54	0	193	11537	R	R	R	R
25/10/2010	437	0	159	45	128	423	V	RC	185	76	84	545	V	VC	V	VC
25/10/2010	438	0	254	30	150	686	V	RC	254	29	152	684	V	RC	V	RC
25/10/2010	439	0	163	111	35	528	V	V	254	126	33	803	V	V	V	V
25/10/2010	441	2	101	67	97	22112	RC	VC	124	80	78	27287	VC	V	VC	VC
25/10/2010	442	2	51	28	153	10862	R	R	73	48	124	15812	R	R	R	R
25/10/2010	443	2	108	75	85	23687	VC	VC	107	85	71	23462	VC	VC	VC	VC
25/10/2010	444	0	254	36	141	695	V	RC	213	148	30	683	V	V	V	VC
26/10/2010	445	2	10	0	193	1637	R	R	58	10	179	12437	R	R	R	R
26/10/2010	446	2	137	74	87	30212	V	V	53	118	34	11312	R	R	R	R
26/10/2010	447	0	254	55	114	722	V	VC	132	255	17	453	V	V	V	VC
26/10/2010	448	2	45	63	102	9512	R	R	151	102	46	33362	V	V	R	R
26/10/2010	449	2	72	49	123	15587	R	R	254	78	81	56537	V	V	R	R
26/10/2010	450	0	254	65	100	736	V	VC	254	81	76	760	V	VC	V	VC
26/10/2010	451	2	124	23	160	27287	VC	V	18	53	117	3437	R	R	R	R
26/10/2010	452	2	14	255	17	2537	R	R	93	255	17	20312	RC	RC	R	R
26/10/2010	453	0	116	111	35	387	V	V	254	39	137	699	V	RC	V	VC
26/10/2010	454	2	254	12	176	56537	V	V	161	0	193	35612	V	V	V	V
26/10/2010	455	0	194	26	156	500	V	RC	150	89	65	459	V	VC	V	VC
26/10/2010	456	0	254	110	35	801	V	V	254	148	30	806	V	V	V	V
07/11/2010	457	2	50	102	46	10637	R	R	90	146	30	19637	RC	RC	R	R
07/11/2010	458	2	125	45	128	27512	VC	V	103	49	123	22562	RC	VC	VC	VC
07/11/2010	459	0	254	9	180	656	V	RC	251	111	35	792	V	V	V	VC
07/11/2010	460	2	110	84	72	24137	VC	VC	74	93	59	16037	RC	RC	RC	RC
07/11/2010	461	0	254	33	146	690	V	RC	168	255	17	561	V	V	V	VC
07/11/2010	462	2	40	94	58	8387	R	R	30	137	31	6137	R	R	R	R
07/11/2010	463	2	180	56	113	39887	V	V	146	32	147	32237	V	V	V	V

Date	N° Poste Polux®	Treatment	F1	H1	H1%	Sigma1	Security1	Maintenance1	F2	H2	H2%	Sigma2	Security2	Maintenance2	Security average	Maintenance average
07/11/2010	464	2	91	56	113	19862	RC	RC	200	15	172	44387	V	V	V	V
07/11/2010	465	2	13	91	62	2312	R	R	30	107	39	6137	R	R	R	R
07/11/2010	466	2	40	0	193	8387	R	R	97	0	193	21212	RC	RC	R	R
07/11/2010	467	2	71	46	127	15362	R	R	48	27	154	10187	R	R	R	R
07/11/2010	468	2	26	54	115	5237	R	R	31	44	130	6362	R	R	R	R
07/11/2010	469	0	133	57	111	362	V	VC	165	53	117	452	V	VC	V	VC
07/11/2010	470	2	65	115	34	14012	R	R	61	141	31	13112	R	R	R	R
07/11/2010	471	2	103	112	34	22562	RC	VC	105	163	28	23012	VC	VC	RC	VC
07/11/2010	472	0	254	112	34	802	V	V	254	70	92	744	V	VC	V	VC
07/11/2010	473	2	34	17	169	7037	R	R	254	52	118	56537	V	V	R	R
07/11/2010	474	0	119	255	17	414	V	V	177	255	17	588	V	V	V	V
07/11/2010	475	2	254	64	101	56537	V	V	254	80	78	56537	V	V	V	V
07/11/2010	476	2	72	213	22	15587	R	R	144	149	30	31787	V	V	R	R
07/11/2010	477	0	21	255	17	120	R	R	21	58	110	27	R	R	R	R
07/11/2010	478	0	149	55	114	407	V	VC	225	42	133	616	V	RC	V	RC
07/11/2010	479	0	235	56	113	666	V	VC	254	17	169	667	V	RC	V	RC
07/11/2010	480	0	193	102	46	607	V	V	207	111	35	660	V	V	V	V
07/11/2010	481	0	162	74	87	473	V	VC	124	35	143	303	V	RC	V	VC
07/11/2010	482	2	225	35	143	50012	V	V	197	46	127	43712	V	V	V	V
07/11/2010	483	2	97	113	34	21212	RC	RC	74	196	24	16037	RC	RC	RC	RC
07/11/2010	484	2	242	89	65	53837	V	V	212	76	84	47087	V	V	V	V
07/11/2010	485	2	110	81	76	24137	VC	VC	144	73	88	31787	V	V	VC	V
07/11/2010	486	2	103	51	120	22562	RC	VC	112	78	81	24587	VC	VC	VC	VC
08/11/2010	487	2	52	136	31	11087	R	R	160	239	19	35387	V	V	R	R
08/11/2010	488	2	91	55	114	19862	RC	RC	61	103	45	13112	R	R	R	R
08/11/2010	489	2	178	85	71	39437	V	V	130	56	113	28637	V	V	V	V
08/11/2010	490	2	229	27	154	50912	V	V	150	71	91	33137	V	V	V	V

17/12/2010	493	2	128	58	110	28187	V	V	98	80	78	21437	RC	RC	VC	VC
17/12/2010	494	2	52	31	149	11087	R	R	113	70	92	24812	VC	VC	R	R
17/12/2010	495	2	51	32	147	10862	R	R	43	34	144	9062	R	R	R	R
17/12/2010	496	2	138	0	193	30437	V	V	95	3	189	20762	RC	RC	VC	VC
17/12/2010	497	2	98	0	193	21437	RC	RC	98	12	176	21437	RC	RC	RC	RC
17/12/2010	498	2	28	0	193	5687	R	R	45	11	178	9512	R	R	R	R
17/12/2010	499	2	82	11	178	17837	RC	RC	105	36	141	23012	VC	VC	RC	RC
17/12/2010	500	2	180	45	128	39887	V	V	182	63	102	40337	V	V	V	V
17/12/2010	501	2	196	22	162	43487	V	V	155	7	183	34262	V	V	V	V
17/12/2010	502	0	49	39	137	84	R	R	68	85	71	207	RC	RC	R	R
17/12/2010	503	0	121	112	34	403	V	V	195	52	118	541	V	VC	V	VC
17/12/2010	504	0	254	41	134	702	V	RC	62	63	102	158	RC	RC	V	VC
17/12/2010	505	0	174	255	17	579	V	V	239	126	33	758	V	V	V	V
17/12/2010	506	2	191	61	105	42362	V	V	180	15	172	39887	V	V	V	V
17/12/2010	507	2	219	28	153	48662	V	V	165	34	144	36512	V	V	V	V
17/12/2010	508	2	254	38	139	56537	V	V	219	38	139	48662	V	V	V	V
17/12/2010	509	0	254	17	169	667	V	RC	254	18	167	669	V	RC	V	RC
17/12/2010	510	2	238	1	192	52937	V	V	254	39	137	56537	V	V	V	V
17/12/2010	511	2	116	26	156	25487	VC	VC	254	40	136	56537	V	V	V	V

ANEXO D - Cálculo do MOR_{RES} do teste com ultrassom

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Regression Analysis: MOR versus VRR^4; Vsurf; VS^2

$$\text{MOR} = -99,7 + 4,77(\text{E-}12) \text{Vrr}^4 + 0,067 \text{Vsurf} - 9(\text{E-}6) \text{Vsurf}^2$$

The regression equation is

$$\text{MOR} = -99,7 + 0,000000 \text{VRR}^4 + 0,0671 \text{Vsurf} - 0,000009 \text{VS}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-99,74	51,00	-1,96	0,061
VRR^4	0,00000000	0,00000000	7,65	0,000
Vsurf	0,06713	0,02749	2,44	0,021
VS^2	-0,00000944	0,00000361	-2,61	0,014

S = 11,23 R-Sq = 70,1% R-Sq(adj) = 66,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	7981,5	2660,5	21,09	0,000
Residual Error	27	3405,8	126,1		

Total 30 11387,4

Source	DF	Seq SS
VRR^4	1	6836,6
Vsurf	1	283,5
VS^2	1	861,4

Unusual Observations

Obs	VRR^4	MOR	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	1,4853E+12	42,00	16,54	3,42	25,46	2,38R
26	5,0173E+12	10,00	13,29	8,47	-3,29	-0,45 X
30	1,5769E+13	92,00	88,50	8,48	3,50	0,47 X

R denotes an observation with a large standardized residual

X denotes an observation whose X value gives it large influence.

ANEXO E - Tabela de resultado dos postes testados com ultrassom

Poste	MOR _{RES} (N/mm ²)	Diâmetro (mm ²)	V _{RRmin} (cm/min.)	V _{surf} (cm/min.)
2332	28,07	19	896	3.714
2334	52,90	19,4	1.565	3.448
2939	21,97	20,4	721	3.030
2944	26,99	22,3	820	3.857
2972	16,13	22,6	785	4.811
3276	51,93	19,7	1.615	2.941
6775	25,30	22,3	1.104	4.590
6799	24,22	18,8	964	2.985
7076	25,00	22,3	541	3.933
7239	31,88	20,5	1.096	3.704
8794	19,00	22,6	975	2.652
8805	33,10	21,5	1.311	2.907
8811	24,40	27,7	383	4.000
9775	27,19	23,3	823	3.714
9858	17,20	23,9	860	2.647
9876	23,15	20,9	836	4.403
10735	32,35	22,4	1.114	3.714
A20	18,19	22,3	461	2.839
A21	17,75	22	479	4.635
A38	28,78	21,3	951	3.836
A4	51,45	20,7	1.656	4.745
A41	42,66	19	1.429	4.217
A44	24,85	21,5	726	3.318
B23	13,03	23,9	149	2.569
B27	25,17	23,2	720	3.371
C2A	27,90	23	885	3.763
C4A	25,26	22,3	1.497	5.344
c6	32,14	24,7	1.241	4.403
Novo 2	96,38	27,4	1.993	4.375
Novo 3	57,54	29,3	1.628	3.399
US01	25,90	26,6	1.142	2.828

