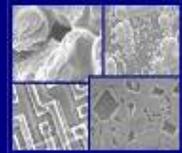




PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

**MELHORIAS NOS MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE
POSTES DE MADEIRA POR MEIO DA RÁDIO FREQUÊNCIA E DO
ESTUDO DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Rodrigo Patrício de Arruda

(Eng. De Controle e Automação)

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

Porto Alegre, Julho de 2006

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

**MELHORIAS NOS MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE
POSTES DE MADEIRA POR MEIO DA RÁDIO FREQUÊNCIA E DO
ESTUDO DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Rodrigo Patrício de Arruda

Eng. De Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Marçal José Rodrigues Pires

Co-Orientadora: Profa. Dr. Berenice Anina Dedavid

Porto Alegre, Julho de 2006

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, o todo amor, carinho, compreensão e respeito.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Marçal Pires e Prof. Dr. Berenice Dedavid, com quem aprendi e com quem discuti nos mais diversos momentos, e que foram, de modos muito diferentes, fundamentais na minha formação e na orientação desta dissertação.

Aos colegas de projeto, Flávio, John, Marcos, Alexandre, Marcelo, pela grande amizade e companheirismo e toda ajuda prestada nas mais diversas etapas deste trabalho. Aos amigos da PUCRS, e colegas de mestrado, por todo apoio e incentivo nas horas difíceis.

A empresa AES Sul, em especial aos diretores que acreditaram e investiram neste projeto de pesquisa, e também a todos os funcionários e equipes de campo presentes nos trabalhos de inspeções e ensaios mecânicos.

Aos Colaboradores do LAMEN, ABPM, IPEF, IPT, UFRGS, PRESCHEM; a PUCRS, professores do PGETEMA e técnicos do laboratório de ensaios, por toda a informação, orientações e críticas fornecidas.

Por último, gostaria de estender os meus agradecimentos a todos aqueles de uma forma ou de outra (fornecendo idéias e/ou criticando), foram ajudando anonimamente nas inúmeras discussões ao longo destes dois anos.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A madeira tem um papel essencial para a construção das linhas de transmissão e redes de distribuição de energia elétrica. Estender a vida útil dos postes em serviço é fundamental para reduzir os custos e melhorar a qualidade do serviço prestado pelas companhias de energia. O uso de novas tecnologias, aplicadas à técnica de inspeção e coleta de dados, pode nos permitir um nível superior de rastreabilidade e controle para facilitar a tomada de decisões.

O trabalho em questão é fruto de um projeto de pesquisa da PUCRS em cooperação com a empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A, em sua segunda fase (período 2004-2006). Tem como objetivo propor melhorias ao método de inspeção de postes de madeira em serviço, a partir do estudo das propriedades mecânicas das principais espécies de eucalipto utilizadas na fabricação de postes, do desenvolvimento de uma metodologia aprimorada de inspeção e cadastro, além do estudo para a implementação de um sistema eletrônico de identificação.

Para o estudo das propriedades, foram escolhidas três principais espécies de eucalipto: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora*. Para estas, foram realizados ensaios mecânicos de flexão e compressão paralela às fibras seguindo os padrões da norma brasileira NBR 7190/97, também foram determinadas propriedades físicas como o teor de umidade e densidade. A partir da determinação destas propriedades é sugerida uma metodologia alternativa para o controle de qualidade de postes novos.

Foi desenvolvida uma metodologia aprimorada de inspeção dos postes em serviço, juntamente a um sistema de classificação de postes de acordo com seu grau de deterioração. Foi então realizado um trabalho de inspeções de 10.189

postes distribuídos por 25 municípios na área de concessão da AES Sul. As informações coletadas alimentaram um banco de dados que é utilizado, entre outros, para traçar um perfil do estado de conservação dos postes.

Das discussões feitas a partir da análise dos dados de inspeção, destacam-se a grande variabilidade encontrada entre municípios, o alto percentual de postes sem identificação (57%), destes, um elevado índice de postes em estado avançado de degradação (14%). Foram detectados postes com durabilidade inferior a 10 anos (1,4%), todos preservados com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e localizados na região metropolitana do estado, este dado sugere problemas na fabricação de postes preservados com CCA.

Por fim, é apresentada uma alternativa ao problema de rastreabilidade dos postes detectada na primeira fase do projeto (maioria dos postes inspecionados encontrava-se sem placa de identificação). A alternativa é baseada na tecnologia de identificação por rádio-frequência (RFID), onde TAGs (etiquetas eletrônicas) de identificação são instalados internamente nos postes e leitura é feita por um computador portátil (PDA). Foram realizados testes para comprovar a eficácia da aplicação desta tecnologia, incluindo testes em postes de concreto e uma proposta de ampliação do uso dos TAGs para serem instalados nos postes durante seu processo de fabricação.

Este estudo mostrou, além da necessidade, a viabilidade técnica da implantação de um sistema controle, identificação e acompanhamento dos postes através de inspeções sistemáticas. Aponta também para a necessidade de uma avaliação continuada das inspeções de campo, já que estas informações deverão servir de embasamento para a tomada de decisões e gerenciamento do sistema de distribuição de energia elétrica na empresa.

ABSTRACT

The wood has an essential role in the construction of transmission and power distribution grids. Extend the lifetime of these in-service utility poles is crucial to reduce costs and improve the quality of the service provided by the power companies. The utilization of new technologies, applied to the techniques of inspection and data collection, could allow us a superior level of tracking and control to facilitate making decisions.

This work is a product of a research project of PUCRS in cooperation with AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A, in your second phase (period of 2004-2006). It has the objective to propose improvements to the inspection method for wooden utility poles, by the means of studying the mechanical properties of the main eucalyptus species used in the manufacturing of poles, by developing a refined methodology of inspection and registration, and by researching the implementation of a new electronic identification system.

For the study of wood properties, it was chosen three main eucalyptus species: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus citriodora*. To these, were done mechanical tests of static bending and compression parallel to grain, following the standards of the Brazilian normative NBR 7190/97. It were also determined the physical properties like the moisture content and density. From that point, it is proposed an alternative methodology for the quality control of new wood poles.

It was developed a improved utility pole inspection methodology, together with a pole classification system according to the degree of decay. Then, it was performed an inspection job of 10.189 poles distributed over 25 cities in AES Sul operational

area. All the collected information supplied a database that was used, among others, to create a profile of the overall conservation state of the poles.

From the discussions made of the poles profile analysis, the most important were: the great variability noticed between cities, the high percentage of poles without identification (57%), from these, a considerable rate of poles in advanced state of decay (14%). It were detected poles that lasted less then 10 years (1,4%), all those wood poles that were treated with CCA (Chromated Copper Arsenate) preservative and were located in the metropolitan state area, this fact suggests problems in the production of wooden poles with CCA preservative.

Finally, it is presented an alternative to the problem of tracking poles detected in the first phase of the project (the majority of the inspected poles were without the identification tag). The alternative is based on a technology of radio frequency identification (RFID), where electronic identification *TAGs* were installed hidden inside the poles and the reading was made by a portable computer (PDA). Tests to prove the effectiveness of this technology were done, including tests on concrete poles and a proposal to extend the use of these *TAGs* to be installed in the poles during their manufacturing process.

This study pointed out, besides the necessity, the technological feasibility to implement a control, identification and watching system for poles, thought systematic inspections. Points also to the need of a continued evaluation of the field inspections, once these information's should serve of abasement to the making decisions and management of the company's power distribution system.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ANEXOS.....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XV
INTRODUÇÃO.....	1
1. PROJETO AES SUL / PUCRS – FASE II.....	4
1.1. Objetivos.....	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1. A Madeira.....	9
2.1.1. Propriedades da Madeira.....	11
2.2. O Poste de Madeira.....	16
2.3. Ensaio Mecânicos.....	21
2.3.1. Ensaio de Compressão.....	24
2.3.2. Ensaio de Flexão.....	26
2.4. A Tecnologia de Identificação por Rádio Frequência.....	30
2.4.1. Aplicações.....	30
2.4.2. Classificação.....	31
2.4.3. Princípio de Funcionamento:.....	32
2.4.4. Os Componentes de um sistema RFID:.....	34

3. METODOLOGIA	39
3.1. Locais da pesquisa	40
3.2. Ensaio Mecânicos com Postes de Madeira.....	41
3.2.1. Seleção das Espécies e Preparação das Amostras.....	42
3.2.2. Determinação do Teor de Umidade e Densidade Aparente.....	45
3.2.3. Ensaio de Compressão	47
3.2.4. Ensaio de Flexão	50
3.3. Inspeção de Postes em serviço.....	53
3.3.1. Inspeção dos Postes	54
3.3.2. Retratamento	57
3.4. Sistema eletrônico de identificação e rastreamento dos postes.....	58
3.4.1. Testes da Tecnologia em Laboratório.....	61
3.4.2. Testes da Tecnologia em Campo	66
3.4.3. Testes da aplicação dos TAGs no processo de fabricação dos postes.....	69
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
4.1. Ensaio Mecânicos	70
4.1.1. Determinação da Densidade Aparente e Teor de Umidade.....	70
4.1.2. Ensaio de Flexão	72
4.1.3. Ensaio de Compressão Paralela às Fibras.....	77
4.1.4. Metodologia alternativa para o controle de qualidade dos postes	82
4.2. Trabalho de Inspeções.....	84
4.2.1. Placas de Identificação.....	85
4.2.2. Tipos de Preservativos	87
4.2.3. Idade dos postes em serviço	89
4.2.4. Classificação dos postes	90
4.2.5. Durabilidade dos postes	92
4.3. Tecnologia RFID.....	94
4.3.1. Testes da aplicação da tecnologia no processo de fabricação dos postes.....	97
5. CONCLUSÕES	99
6. RECOMENDAÇÕES	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	102
8. ANEXOS :	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de concessão da empresa AES Sul, com detalhe para as Sub-regiões administrativas e volume de consumidores no estado do Rio Grande do Sul.	5
Figura 2 - Eixos ortogonais de simetria física da madeira	11
Figura 3 – A estrutura da madeira : (a) Macroestrutura mostrando os anéis de crescimento, (b) detalhe das fibras dentro de um anel de crescimento anual com lenho inicial e tardio (c) compoentes da matriz polimérica (d) composição da célula da madeira.	12
Figura 4 – Modelo de poste de madeira utilizado pela AES Sul (Adaptado de VIDOR, 2003).	19
Figura 5 – Diagrama tensão x deformação específica para determinação do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (NBR7190, 1997).....	26
Figura 6 – Exemplo de aplicação de força em um ensaio de flexão em 3 pontos (GARCIA <i>et al.</i> , 2000).....	27
Figura 7 – Esquemático para ensaio de flexão em postes de madeira segundo a norma ASTM D1036 – Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles, 1990.....	29
Figura 8 – Princípio de transmissão do RFID: antena em solenóide e campo magnético produzido (FINKENZELLER, 2003).....	33
Figura 9 – Etapas do processo de Leitura de um TAG Passivo. (a) leitor estimula TAG, (b) TAG retorna dados (PINHEIRO, 2005).....	34
Figura 10 – Modelo de TAG RFID, construção interna (PINHEIRO, 2005).....	35

Figura 11 – Crescimento do mercado global de RFID, segundo relatório anual da VDC, valores em Milhões de dólares (VDC, 2005).	37
Figura 12 - Ilustração de um poste na horizontal, destacando a região de onde foram retirados as amostras para a realização dos ensaios mecânicos.	43
Figura 13 – Técnica de obtenção dos corpos de prova para os ensaios de compressão.....	43
Figura 14 – Esquema para corte dos corpos de prova para ensaios de compressão segundo a norma NBR 7190/97.	44
Figura 15 – Medidor de Umidade DL2000 e princípio de operação (DIGISYSTEM, 2005). .	46
Figura 16 – Máquina utilizada para os ensaios de compressão: EMIC PC200i.....	47
Figura 17 – Ensaio de Compressão até a ruptura, peça excluída da análise estatística por apresentar rachaduras e propriedades mecânicas inferiores.....	48
Figura 18 – Detalhe do acessório; extensômetro utilizado para aquisição da deformação da madeira nos ensaios de compressão.	49
Figura 19 – Gráfico de pré-cargas seguindo a norma NBR em comparação com a metodologia adotada (Adaptação .NBR 7190, 1997).....	50
Figura 20 – Ensaio de Flexão realizado na Usina de Preservação de Madeira no distrito de Barreto.....	51
Figura 21 – Furos representando o retratamento da PRESCHEM (2004).	52
Figura 22 – Fotos mostrando as diferentes etapas de um procedimento de inspeção dos postes em campo.	55
Figura 23 – Fotos dos preservativos sendo aplicados: A bandagem Bioguard (esquerda) e os bastonetes Polisaver (PRESCHEM, 2004).....	58
Figura 24 – Aplicação da Tecnologia RFID : a) TAG oculto na madeira; b) Antena RF; c) Dispositivo de leitura; d) Sistema portátil de armazenamento de dados (HOYT, 2003).	61
Figura 25 – Diagrama da antena S01C (ângulo de 0° em relação ao TAG). Tensão de operação de 361 V, 393 V e 650 V. Escala em metros (TEXAS, 1996).....	63

Figura 26 – Vista de corte horizontal, indicando o TAG (em vermelho), o poste (marrom), e a antena de leitura (em cinza). Esquema dos testes de leitura.....	65
Figura 27 – Esquema de montagem do teste de bancada para determinar a área de leitura dos TAGs implantados na madeira. Escala para medição das distâncias máximas de leitura em diferentes ângulos.	65
Figura 28 – Berço de engastamento: formato que contraria o recomendado pela norma de ensaios de flexão para postes.	75
Figura 29 – Aplicação de carga manual, ignorando as recomendações de aplicação de carga constante da norma de ensaio de flexão para postes.	75
Figura 30 – Deformação do poste de <i>Eucalyptus citriodora</i> quando aplicada carga durante o ensaio de flexão.....	76
Figura 31 – Diferentes tipos de fratura nos postes: (a) <i>E.grandis</i> – fratura lisa, (b) <i>E.saligna</i> – fratura fibrosa ao longo do poste e (c) <i>E.citriodora</i> – fratura fibrosa na base.....	76
Figura 32 – Gráfico da tensão máxima de compressão para as três espécies de Eucalipto: CP1 – <i>E.citriodora</i> , CP2 – <i>E.saligna</i> , CP3 – <i>E.grandis</i>	77
Figura 33 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de <i>E.grandis</i> submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.	78
Figura 34 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de <i>E.saligna</i> submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.	79
Figura 35 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de <i>E.citriodora</i> submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.....	80
Figura 36 – Incidência da placa de identificação nos postes de madeira	86
Figura 37 – Principais tipos de preservativos (CCA e Creosoto) utilizados no tratamento dos postes e sua distribuição em cada município.	87
Figura 38 – Preservativos (CCA e Creosoto) utilizados no tratamento dos postes e sua distribuição por região.	88
Figura 39 – Perfil da idade (ano de fabricação) dos postes em serviço. Dados referentes somente aos postes com placa de identificação.	89

Figura 40 – Estado de conservação dos postes por município. Classificados por classes mostrados em porcentagem do total de postes inspecionados em cada município.	91
Figura 41 – Relação: tipo de preservativo por tempo de serviço e classificação dos postes.	93
Figura 42 – Área de leitura dos TAGs instalados no interior dos postes, determinada através de testes de bancada.	94
Figura 43 – Volume de leitura de leitura dos TAGs instalados no interior dos postes, determinada através de testes de bancada.....	95
Figura 44 – Aparelho portátil de inspeções realizando a leitura de uma etiqueta eletrônica (TAG, RFID), implantado no poste de madeira.	95
Figura 45 – Protocolo de aplicação dos TAGs nos postes de madeira.....	96
Figura 46 – Aplicação dos TAGs em postes de concreto.....	97
Figura 47 – Teste de resistência dos TAGs ao tratamento sob pressão de postes em autoclave.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Dados comparativos: Materiais estruturais (CALIL JR e DIAS, 1997).	13
Tabela II – Valores médios de propriedades das três espécies de eucaliptos estudadas (NBR 7190, 1997, Anexo E).	14
Tabela III – Custos de aquisição dos TAGs e Leitores envolvidos neste estudo (Distribuidora Pan-Arrow Brasil, fevereiro 2006).	38
Tabela IV – Parâmetros para classificação dos postes inspecionados e procedimentos a serem adotados.	56
Tabela V – Densidade aparente (Dap) obtida nos ensaios para as três espécies estudadas (Dap) e comparação com os valores relatados na norma NBR7190, (anexo E), e do banco de dados do IPT.	71
Tabela VI – Teor de umidade médio para cada espécie, comparação do método experimental (NBR7190/97) com a leitura do aparelho eletrônico de medição de umidade DL2000.	71
Tabela VII – Ensaio de Flexão de postes segundo a NBR6231/1980. Parâmetros e resultados obtidos.	73
Tabela VIII – Resultados dos testes experimentais de flexão comparados com os valores do banco de dados do IPT para madeira verde.	74
Tabela IX – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie <i>Eucalyptus grandis</i>	78

Tabela X – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie <i>Eucalyptus saligna</i>	79
Tabela XI – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie <i>Eucalyptus citriodora</i>	80
Tabela XII – Resultados do teste experimental de compressão paralela às fibras comparados com os valores do banco de dados do IPT para madeira verde.	81
Tabela XIII – Relação de municípios e quantidade total de postes inspecionados (Concreto e Madeira), nas cinco regiões administrativas da AES Sul.	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo A : Programa de inspeções;

Anexo B : Ficha de inspeção em campo;

Anexo C : Área de testes no TECNOPUC;

Anexo D : Fotos das Inspeções em campo;

LISTA DE ABREVIATURAS

ABPM	Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AS	Australian Standard
AT	Alta Tensão (Circuito)
BDI	Base de Dados de Instalações (AES Sul)
BT	Baixa Tensão (Circuito)
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CEMIG	Centrais Elétricas de Minas Gerais
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CPs	Corpos de prova
EPC	Electronic Product Code (Código Eletrônico de Produto)
E_{c0}	Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras
f_{c0}	Resistência característica à compressão paralela às fibras
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MPa	Megapascais
MW	Megawatt
PDA	Personal Digital Assistant (Assistente Digital Pessoal)

RF	Rádio Frequência
RFID	Radio Frequency Identification (Identificação por Rádio Frequência)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TAG	Etiqueta ou Transponder de identificação por RF
UPM	Usina de Preservação de Madeira (AES Florestal)

INTRODUÇÃO

Um dos desafios da ciência articulada à tecnologia é mostrar à sociedade a importância destes temas e a sua relação com vida de cada cidadão. É através de pesquisas científicas que as indústrias podem desempenhar a sua função social no manejo da tecnologia considerando a riqueza de nosso meio ambiente e orientando ao uso de madeiras provenientes de florestas naturais para o desenvolvimento de uma sociedade auto-sustentável.

A tecnologia pode nos fornecer mecanismos inestimáveis para melhorar a eficiência dos produtos florestais em vários estágios, incluindo plantio, colheita, processamento da madeira e reflorestamento. Uma variedade de métodos de sensoriamento remoto, medição e identificação, tecnologias como o GPS (Sistema de Posicionamento Global), SIG (Sistema de Informação Geográfica), vem garantindo meios para monitorar a saúde da árvore e, ao mesmo tempo, medir o impacto da colheita no meio ambiente (WILSON *et al*, 2001).

Nesta perspectiva, o conceito de “Silvicultura de precisão” (Vettorazzi & Ferraz, 2000) está cada dia mais presente, e este novo nível de controle, possível com a integração destas novas tecnologias, traz consigo ganhos reais na produção de madeira. Entretanto, o nível no qual a informação *in situ* tem sido usada para

melhorar a qualidade e o valor dos produtos florestais, antes e depois da colheita, ainda é relativamente pequeno se comparado com outras indústrias onde a informação tem revolucionado o processo de tomada de decisões.

A madeira proveniente de áreas de preservação tem um extensivo uso na indústria de distribuição de energia elétrica. Quando as toras de madeira se transformam em postes para serem utilizados pelas companhias de energia, a necessidade de ter um controle sobre a qualidade e origem do produto é evidente, visto que este tem um impacto direto na qualidade do serviço prestado.

Testes de resistência, quando aplicados adequadamente, podem reduzir a ocorrência de falhas em postes em serviço, além de permitir o controle sobre a qualidade da madeira utilizada. Quando se trabalha com diferentes espécies de madeira, é prudente manter registros sobre os valores de resistência aos esforços e tensões quando em serviço para cada espécie. Os testes de resistência vão definir a espessura e o tamanho da árvore a ser cortada e como consequência influí diretamente sobre o impacto ambiental.

Estas técnicas de controle de qualidade da madeira, atuando com o suporte das novas tecnologias de rastreamento e monitoramento, e posteriormente associadas à inspeção e manutenção preventiva dos postes nos permite tomadas de decisões com maior eficiência, minimizando custos, otimizando os recursos e atividades produtivas, acarretando ganho de produtividade e maximização dos lucros para a empresa. Métodos de caracterização, inspeção, conservação e rastreabilidade da madeira utilizada na transmissão de energia elétrica, são então, fundamentais para maximizar a vida útil dos postes em serviço e aumentar a confiabilidade do sistema.

No Brasil, principalmente nos estados da região Sul, o uso de postes de madeira é mais representativo, alcançando cerca de 90% do total dos postes produzidos, com ênfase para as linhas de transmissão de até 69 kV. Linhas de transmissão de maior potência dão preferência ao uso do concreto e estruturas metálicas reforçadas devido ao maior grau de responsabilidade, obviamente com um custo consideravelmente maior. Vale lembrar que o poste de madeira nas linhas de baixa tensão, também vem tendo seu uso consorciado com as empresas de telecomunicações para o suporte das redes de telefonia e, mais recentemente, para as redes de TV a cabo ou mesmo para cabos de fibra ótica.

Frente a esta situação, o aumento da vida útil dos postes em serviço é de interesse estratégico para a empresa AES Sul, não só devido aos custos de substituição, mas também devido aos problemas inerentes à interrupção de fornecimento de energia, dentre eles as perdas no faturamento e o comprometimento com indicadores técnicos como DEC e FEC (Duração Equivalente por Consumidor e Frequência Equivalente por Consumidor), que refletem diretamente a confiabilidade do sistema (AES Sul, 2006).

Este estudo se propõe a experimentação destas novas tecnologias visando a melhoria dos métodos de inspeção, classificação e identificação dos postes de madeira, evitando desperdícios e trazendo ganhos para empresa, para o meio-ambiente e para a sociedade em geral.

1. Projeto AES Sul / PUCRS – Fase II

A AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A é uma empresa do grupo norte-americano AES Corporation que atua em 30 países, principalmente na geração de energia elétrica. O grupo conta com 160 usinas e uma produção de 59.561 MW.

A AES Sul foi criada em outubro de 1997 no processo de privatização da CEEE. A empresa adquiriu a Companhia Centro-Oeste de Distribuição de Energia Elétrica, detentora da concessão na região centro-oeste do Rio Grande do Sul (RS). A AES Sul vem atuando no setor elétrico do RS desde então e atende aproximadamente 1 milhão de consumidores entre residenciais, comerciais, industriais, rurais e outros. São 116 municípios atendidos, totalizando uma área territorial de 99.512 km².

A distribuidora tem 48 subestações próprias, com 65 transformadores para as estações e 37.484 transformadores de distribuição; 1.769 MVA de potência instalada, 1.622 km de linhas de transmissão e 50.915 km de redes de distribuição. Conta ainda com 16 unidades de serviço; 2 centros de operação de distribuição: São Leopoldo e Santa Maria; um centro de operação de sub-transmissão localizado em São Leopoldo e dois centros de capacitação : São Leopoldo e Santa Maria. Sua sede administrativa está localizada em Porto Alegre na rua Dona Laura, 320, Bairro Moinhos de Vento (AES Sul, 2006).

A AES Florestal foi uma empresa subsidiária da AES Sul, que atendeu as necessidades de produção e preservação de postes e outros produtos (mourões,

varas e madeira para construção civil em geral) do ramo de transmissão e distribuição de eletricidade, segundo o contrato de concessão assinado pela AES Sul quando da privatização da CEEE (AES SUL, 2006). Em 2005, a AES Florestal que era composta da Usina de Preservação de Madeira, denominada UPM-Barreto, localizada no distrito de Barreto em Triunfo-RS, juntamente com a área de 18 hectares do Horto-Florestal foi reivindicada judicialmente e teve o seu controle passado novamente à companhia estadual de energia elétrica – CEEE.

A área de concessão da AES Sul no estado do Rio Grande do Sul abrange a região do interior do estado a partir do centro à região de fronteira oeste como mostra a figura 1. Esta área está subdividida em cinco grandes regiões administrativas: Central, Metropolitana, Vales, Fronteira Norte e Fronteira Sul.

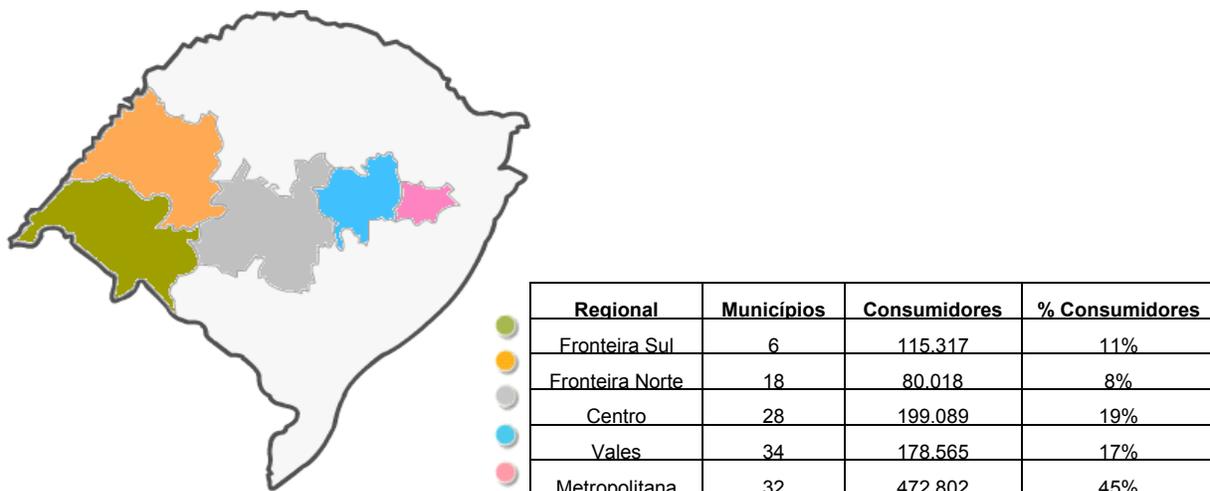


Figura 1 - Área de concessão da empresa AES Sul, com detalhe para as Sub-regiões administrativas e volume de consumidores no estado do Rio Grande do Sul. (Adaptado de AES Sul,2006).

Atenta às novas exigências industriais, comerciais e residenciais sobre sustentabilidade energética, a AES Sul incentiva práticas de Eficiência Energética em toda a sua área de concessão. São projetos categorizados por Programas de

Pesquisa e Desenvolvimento e Programas de Combate ao Desperdício que diminuíram consideravelmente a demanda de consumo em equipamentos, na produção fabril e na iluminação residencial dos clientes AES Sul (AES Sul, 2006).

Em convênio com a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), a AES Sul possui um grupo de pesquisa voltado para o desenvolvimento de tecnologias para a otimização de Processos de Inspeção e retratamento de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Energia Elétrica.

A primeira etapa do projeto teve início em julho de 2001, durante essa fase foram inspecionados 503 postes nos municípios de Canoas e Montenegro. Destes postes, cerca de 30% indicaram condições para o retratamento e 10% foram indicados para troca. Foi constatado que, cerca de 62% dos postes inspecionados não possuíam a placa de identificação, o que prejudicou consideravelmente o trabalho estatístico.

Foram testados os preservativos a base de Boro/Flúor em parceria com a empresa Preschem Australiana. Foi avaliada a eficiência destes produtos em relação aos similares nacionais. Foram feitas análises de solo para detectar a difusão de elementos tóxicos utilizados no tratamento, principalmente o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA).

Neste mesmo período foi testado um equipamento de inspeções automático, o Polux em parceria com a CBS/CBT. O equipamento, apesar de ter se demonstrado eficaz, tinha um custo bastante elevado. A primeira fase do projeto prosseguiu até Julho de 2003 (VIDOR, 2003).

1.1. Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral desenvolver tecnologia para o setor energético nacional, melhorando a qualidade e a durabilidade dos postes de transmissão de energia elétrica. Apresentar um plano de inspeção e manutenção preventiva aprimorado, de modo a otimizar a vida útil dos postes nas linhas de transmissão de energia, aumentar a confiabilidade e evitar prejuízos com a interrupção do serviço fornecido pela concessionária.

Considerando o universo de pesquisa como sendo a área de concessão da empresa AES Sul (cerca de 750.000 postes segundo dados internos da empresa), o estudo está focado mais especificamente para os postes de madeira em circuitos de baixa tensão, que representam à maioria absoluta do total de postes em serviço (97% de postes de madeira, segundo o trabalho realizado por GASTAUD, 2001). A partir deste ponto, o estudo se desdobra em três objetivos específicos, que surgiram a partir dos problemas encontrados e sugestões feitas da primeira fase do projeto.

O primeiro objetivo específico está relacionado ao *estudo das principais propriedades das espécies de madeira mais utilizadas na fabricação de postes*. A partir da determinação das principais propriedades mecânicas (flexão e resistência à compressão paralela às fibras) e físicas (densidade aparente e teor de umidade), será possível fazer comparações entre as espécies de eucaliptos estudadas e assim indicar seu melhor uso e apontar os melhores métodos de controle de qualidade.

O segundo objetivo específico, relativo à *otimização do método de inspeção e conservação de postes de madeira*. Desenvolvendo uma metodologia de inspeção e

classificação de postes em serviço de acordo com seu estado de degradação, será possível avaliar sua durabilidade e indicar os postes para retratamento ou substituição aumentando sua vida útil e prevenindo falhas. Este objetivo também abrange um trabalho de inspeções aplicando esta metodologia desenvolvida a uma amostragem de cerca de 10.000 postes em serviço espalhados ao longo de 25 cidades da área de concessão da empresa. Para assim montar uma base de dados e, a partir da análise, traçar um perfil do estado dos postes.

O último objetivo específico é referente a um *estudo de viabilidade tecnológica para aplicação de um sistema permanente de identificação e rastreamento dos postes*. Seguindo uma recomendação apontada na primeira etapa do projeto, onde foi constatado que apenas 38% dos 503 postes inspecionados (dados da primeira etapa do projeto) estavam devidamente identificados (VIDOR, 2003), um sistema alternativo às placas metálicas se faz necessário. Assim, uma nova tecnologia de identificação por rádio frequência é apresentada, a viabilidade técnica da utilização de etiquetas eletrônicas instaladas internamente ao poste, as vantagens e desvantagens deste novo método bem como as possíveis extensões de sua aplicação serão testadas.

2. Fundamentação Teórica

2.1. A Madeira

A madeira tem servido a humanidade desde sua origem, é um material leve, resistente de grande poder energético e de fácil transformação. Além disso, a madeira possui um potencial altamente propício ao meio ambiente para utilização como material de construção, por representar um recurso renovável, não fóssil.

A produção de madeira apresenta um importante fator ecológico, pois além de ser um produto renovável, incentiva o reflorestamento intensivo, fator que regulariza as precipitações pluviométricas e do CO₂ atmosférico, cuidando do meio ambiente. Madeira preservada é intensamente utilizada nas maiores nações do mundo, devido ao baixo custo de produção.

Com todas essas vantagens, a madeira é um produto orgânico que pode ser inesgotável desde que tenha as devidas providências. Essas características colocam a madeira como material insubstituível por outro (SANTIAGO,1996).

Porém, por ser um material orgânico, a madeira em uso fica exposta ao ataque de fungos, insetos, moluscos e crustáceos que se alimentam de seus componentes. Por existir condições que permitem o crescimento destes agentes biológicos, o ataque produz alterações importantes na resistência mecânica da madeira, como em seu aspecto exterior que demandam investigações cada vez mais detalhadas para o emprego do poste de madeira (LEPAGE, 1986).

Para suprir a demanda por madeira, tanto em escala industrial como para pequenos consumidores, a preferência era por árvores do gênero botânico

Eucalyptus. De ocorrência natural da Austrália, o eucalipto possui cerca de 700 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Esta escolha está relacionada a algumas vantagens da espécie, tais como rápido crescimento; características silviculturais desejáveis (incremento, forma, desrama etc.); grande diversidade de espécies, possibilitando a adaptação da cultura às diversas condições de clima e solo; facilidades de propagação, tanto por sementes como por via vegetativa; e possibilidades de utilização para os mais diversos fins, o que justifica sua aceitação no mercado. Às características desejáveis citadas, somam-se o conhecimento acumulado sobre silvicultura e manejo do eucalipto e ao melhoramento genético, que favorecem ainda mais a utilização do gênero para os mais diversos fins (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

No Brasil, em particular nas regiões Sul e Sudeste, o gênero *Eucalyptus* tem apresentado, para dezenas de espécies, excelente adaptação às condições edafoclimáticas, refletida na alta taxa de crescimento, mesmo com pouco espaçamento entre as árvores plantadas (SALES, 1991).

O conhecimento da anatomia da madeira, a forma como ocorre sua deterioração, bem como o que deve ser feito para preservar, são aspectos fundamentais para estudos como este, que visa a otimização dos processos de tratamento e re-tratamento de postes de madeira.

As espécies de eucalipto diferem largamente no nível em que elas respondem ao tratamento. Atualmente, dos métodos de preservação utilizados no mundo inteiro, os mais eficientes são aqueles aplicados sob condições de vácuo e pressão, e dentre estes o mais importante é o de célula-cheia ou Bethell (autoclave), que tem por fim preencher ao máximo as células da madeira com o preservativo (CTFT,

1970; Cockcroft, 1971; Déon, 1978). No Brasil, o preservativo mais utilizado no tratamento de postes de madeira é o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA).

2.1.1. Propriedades da Madeira

A madeira é um material ortotrópico, isto é, suas propriedades mecânicas variam de forma independente de acordo com o eixo em que a força é aplicada. Para tal, são considerados 3 eixos principais seguindo o sentido da orientação da fibra da madeira (figura 2):

- Longitudinal (no sentido da fibra);
- Radial (normal aos anéis de crescimento);
- Tangencial (tangente aos anéis de crescimento).

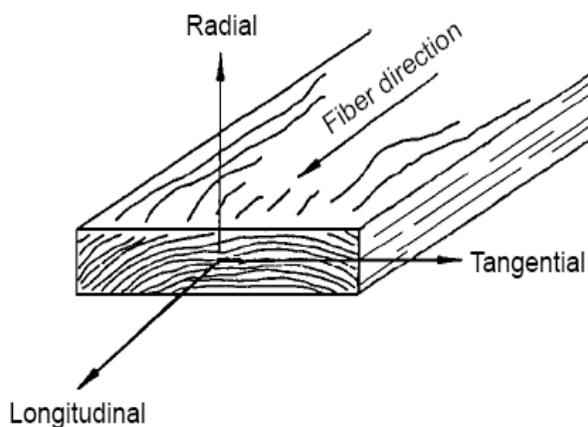


Figura 2 - Eixos ortogonais de simetria física da madeira (Fonte : FOREST PRODUCTS LABORATORY - 1999).

É importante considerar que as propriedades da madeira são determinadas pela sua composição física e química, sendo a sua principal característica é a estrutura celular. A madeira pode ser vista como um material compósito natural composto de fibras de celulose cimentada com um material chamado lignina, onde uma série de tubos concêntricos se ajustam para formar uma matriz polimérica. Esta estrutura confere excelentes características mecânicas (Callister, 2002).

A região longitudinal destes tubos (figura 3d); é composta aproximadamente por 70% celulose, 12 a 28% de lignina e 1% de outros materiais, a tensão média de ruptura longitudinal destas fibras pode chegar a valores em torno de 690 MPa, com densidade média da ordem de $1,45 \text{ ton/m}^3$. A figura 3 apresenta um esboço da estrutura interna de um tronco com os elementos fundamentais. Esses produtos são responsáveis pelas suas propriedades higroscópicas (troca de umidade com o Ar), sua decomposição e resistência mecânica (ASKELAND, 1998).

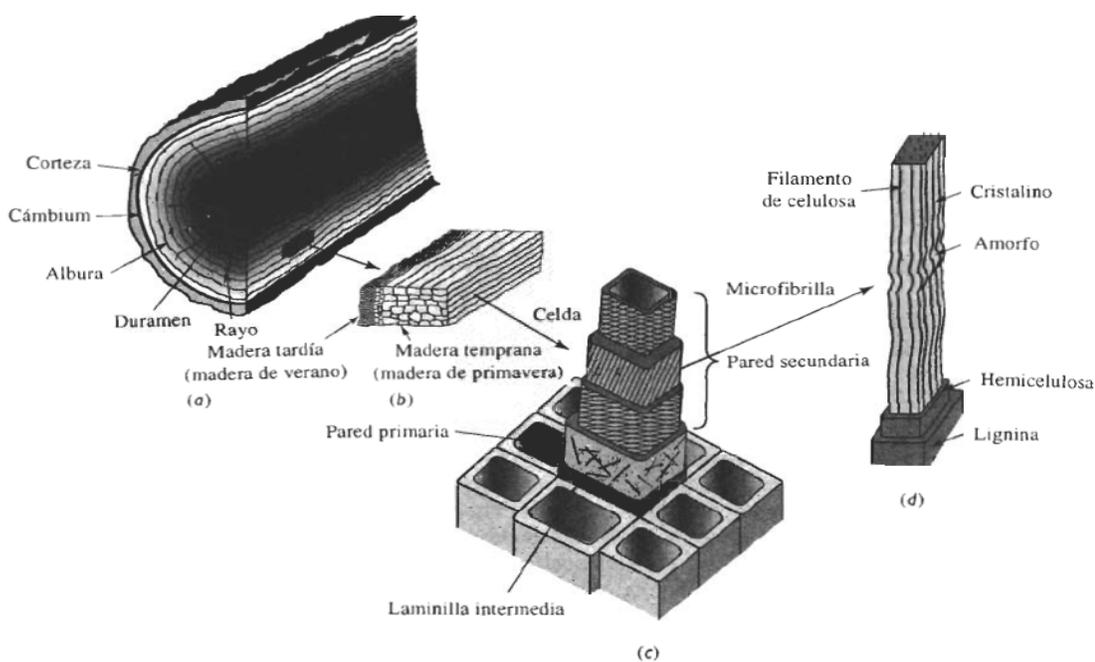


Figura 3 – A estrutura da madeira : (a) Macroestrutura mostrando os anéis de crescimento, (b) detalhe das fibras dentro de um anel de crescimento anual com lenho inicial e tardio (c) componentes da matriz polimérica (d) composição da célula da madeira. (ASKELAND - 1998).

A celulose tem propriedades cristalinas devido à disposição ordenada de suas moléculas em determinadas regiões das microfibrilas chamadas “micelas”, formadas por agrupamentos de moléculas longas de celulose. Estas microfibrilas enrolam-se para formar finas correntes, as quais, por sua vez, podem enrolar-se semelhante aos fios em um cabo e originam as microfibrilas que medem em média 0,5 μm de largura, podendo chegar a 4 μm de comprimento (Raven, 1992).

Outro aspecto que favorece a madeira é sua alta resistência em relação à densidade. Conforme consta na Tabela I, a seguir, adaptada de artigo publicado por Calil Jr. e Dias (1997), essa razão é quatro vezes e dez vezes superior em comparação ao aço e ao concreto (para a madeira dicotiledônea, utilizada na fabricação de postes), respectivamente.

Tabela I – Dados comparativos: Materiais estruturais (CALIL JR e DIAS, 1997).

Material	Densidade (kN/m^3)*	Energia Consumida (MJ/m^3)**	Resistência (MPa)***	Módulo de Elasticidade (MPa)***	E	F	G
Concreto	24	1920	20,3	20000	96	0,83	833
Aço	78	234000	250,4	210000	936	3,21	2692
Madeira – conífera	6	600	50,5	10000	12	8,33	1667
Madeira – dicotiledônea	9	630	90,5	25000	7	10,00	2778

* Densidade do material, no caso da madeira, valor referente à umidade de 12%.

** Energia consumida na produção, para o concreto a energia provém da queima de óleo; para o aço, do carvão; para a madeira, energia solar.

*** Para o concreto o valor citado se refere à resistência característica à compressão, produto usinado; para o aço trata-se da tensão de escoamento do tipo ASTM A-36; para a madeira são os valores médios da resistência à compressão paralela às fibras, referida à umidade de 12% de acordo com recomendação da NBR 7190/1997, da ABNT.

E : relação entre os valores da energia consumida na produção e da resistência.

F : relação entre os valores da resistência e da densidade.

G : relação entre os valores do módulo de elasticidade e da densidade.

Porém, para a caracterização das propriedades mecânicas são considerados apenas dois eixos de carga : normal e paralelo à fibra.

Devido a sua estrutura complexa e a sua variabilidade natural, a madeira, principalmente no caso de postes de eucalipto, ainda está sujeita a apresentar regiões não homogêneas e defeitos como porosidade, nós, bolsas de resina, fendas, que afetam diretamente suas propriedades mecânicas.

As diferentes espécies de eucalipto, possuem características próprias : diferentes densidades, diferentes áreas de alburno/cerne (porção externa e interna da tora de madeira, respectivamente) , diferentes tamanhos e tipos de fibras, crescimento mais lento ou mais rápido, entre outras. Essas diferenças na estrutura física das árvores resulta em uma variação significativa das suas propriedades mecânicas de espécie para espécie.

Consultando a NBR 7190, Anexo E, encontramos uma tabela comparativa com valores médios usuais de resistência e rigidez de algumas espécies de eucalipto. Desta tabela é possível encontrar valores para as três espécies de eucaliptos abordadas neste estudo, adaptados para a tabela II:

Tabela II – Valores médios de propriedades das três espécies de eucaliptos estudadas (NBR 7190, 1997, Anexo E).

Nome Científico	Dap(12%) (kg/ m ³)*	f _{c0} (MPa)**	f _v (MPa)***	E _{c0} (MPa)***	n
<i>Eucalyptus citriodora</i>	999	62,0	10,7	18.421	68
<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	8,2	14.933	936
<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	7,0	12.813	103

D_{ap} : Densidade (massa específica aparente), valor referente à umidade de 12%.

f_{c0} : Resistência à compressão paralela às fibras.

f_v : Resistência ao cisalhamento.

E_{c0} : Módulo de elasticidade à compressão paralela as fibras.

n : Números de corpos de prova ensaiados.

NOTAS :

Propriedades de resistência e rigidez determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo.

Coefficiente de variação para resistências a solicitações normais: $\delta = 18\%$.

Entre as propriedades da madeira, o melhor parâmetro para avaliar sua qualidade é a densidade de massa, pois este parâmetro se relaciona com várias outras características (HELLMEISTER, 1993 apud RODRIGUES, 2002). A definição de densidade básica, segundo a norma brasileira, é a seguinte :

Define-se o termo prático "densidade básica" da madeira como sendo a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

A massa seca é determinada mantendo-se os corpos de prova em estufa a 103°C até que a massa do corpo de prova permaneça constante (NBR 7190, 1997).

Diversos fatores podem contribuir nas propriedades finais da madeira, mas o principal deles é o teor de umidade da madeira. Por ser um material Higroscópico, a água afeta drasticamente suas propriedades mecânicas, além de ser o principal causador da degradação. O teor de umidade da madeira é determinado dividindo a massa saturada (úmida) do compo de prova pela sua massa seca.

A umidade no interior da madeira está presente em 2 formas: nas cavidades celulares como água livre e dentro das fibras como água absorvida. Durante a secagem da madeira, as fibras não perdem água até toda a cavidade adjacente secar ou perder sua água livre.

O ponto no qual as fibras estão cheias, mas as cavidades estão vazias é chamado ponto de saturação da fibra e ocorre em torno de 30% de conteúdo de umidade. Abaixo deste ponto a madeira apresenta melhores propriedades mecânicas, acima dos 20% de umidade, a madeira sofre apenas pequenas variações de resistência e rigidez, é considerada como sendo madeira "Verde". Ao

absorver umidade a madeira sofre uma expansão volumétrica, e ao secar, se esta atingir valores de umidade menores que 12%, a madeira corre o risco de fissurar.

Uma madeira é considerada seca, quando o seu teor de umidade está em equilíbrio com a umidade relativa do ambiente onde a madeira será utilizada. No caso da região de Porto Alegre, o teor de umidade de equilíbrio da madeira, calculado de acordo com a norma ASTM D 4933-91, é de aproximadamente 14,8%. Neste ponto, as propriedades mecânicas são consideradas superiores (FERREIRA, 2003).

Outro fator importante é a ocorrência de imperfeições na madeira, que influencia diretamente em sua resistência mecânica. Imperfeições como a presença de nós, comuns à madeira e provenientes da fase de crescimento, podem reduzir significativamente suas propriedades mecânicas.

2.2. O Poste de Madeira

A experiência internacional indica que não só os países de vocação florestal, como a Alemanha, Suécia, E.U.A., Finlândia entre outros países, utilizam intensamente os postes de madeira, até a Inglaterra, pobre em florestas, mas rica em cimento, carvão e ferro, prefere importar postes de madeira para suas redes elétricas. Uma comparação entre a utilização de postes de madeira preservada no Brasil e nestes países, confirma que não estamos empregando esse material à altura do seu potencial. Nos E.U.A., por exemplo, o poste de madeira preservada é usado em linhas telefônicas, de distribuição e transmissão de energia para tensões

de até 345 KV. O consumo de postes de madeira preservada representa por ano mais de 99% de todos os postes empregados, sendo estimada uma vida média de 30 - 40 anos.

Vale assinalar que os postes de madeira vêm sendo usados há mais de um século na América do Norte para suportar as linhas elétricas e redes telefônicas. No começo, os postes eram de espécies como a American chestnut (*Castanea dentata*) e a western redcedar (*Thuja plicata*), e não recebiam nenhum tipo de tratamento. Apesar disto, estes postes tiveram uma considerável vida de serviço, e a medida que o sistema foi rapidamente se expandido, a maior demanda por postes forçou uma troca por espécies alternativas. Tais espécies possuíam boas propriedades mecânicas, mas geralmente falhavam em sua durabilidade natural; assim era necessário um tratamento suplementar.

Estudos realizados em postes de eucalipto tratados pelo processo Boucherie, Quente-Frio e Vácuo-Pressão em autoclave, instalados entre 1935 e 1955 pela Companhia Telefônica Brasileira, apontaram que o poste de eucalipto quando submetido a um tratamento preservativo adequado tem uma expectativa de vida média de 35 anos. No entanto, a partir da instalação da primeira usina produtora de postes, operando pelo processo Vácuo-Pressão, em 1945, com a crescente escassez de espécies nativas de resistência natural, somando-se ainda ao aumento gradativo da necessidade de expansão de redes telefônicas e elétricas, o poste de eucalipto preservado foi aos poucos surgindo como uma alternativa para uso em sustentação de redes elétricas e telefonia.

Conforme trabalho realizado por Gastaud (2001), estimava-se um total de aproximadamente 781.460 postes até esse período nas redes da AES Sul. Destes postes, 758.000 (97%) são de madeira e 23.460 (3%) de concreto. Estes postes

encontram-se distribuídos em toda a região Centro-Oeste do RS e apresentam-se com idades e estados de conservação variados.

Os postes de madeira sempre apresentaram um custo inferior aos outros tipos de postes comercializados, principalmente postes de concreto, tanto em linhas de transmissão quanto em redes de distribuição rural. Assim, os postes de madeira atuam como reguladores de preços no mercado nacional, quando ocorre alguma escassez, os preços de postes de concreto sobem rapidamente (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

Segundo Franco & Watai, os postes de madeira apresentam vantagens sobre os postes de concreto. Os postes de madeira são cerca de 5 vezes mais leves que os correspondentes de concreto de seção circular e 3,7 vezes mais leves do que os de concreto de seção duplo T. O consumo de energia para sua fabricação fica na ordem de 2.400 kcal contra 550.000 kcal para o poste de concreto. Considerando a resistência mecânica, o poste de madeira representa, em relação ao poste de concreto duplo T a mesma resistência em todas as direções, ou seja, não possui direções preferenciais. O poste de madeira apresenta assim uma melhor performance, suportando maior esforço mecânico com um diâmetro reduzido (FRANCO & WATAI, 1996).

Os postes de madeira possuem excelentes propriedades como isolante elétrico e baixa condutibilidade térmica, que favorecem sua aplicação em linhas de transmissão e distribuição de energia. O nível básico de impulso da madeira é de 400kV, tornando-a quase 6 vezes melhor isolante que o concreto. Segundo o "T&D Reference Book"¹ (apud REVISTA DA MADEIRA, 2003) as estruturas de

¹ Westinghouse Electric Corporation, "Electrical Transmission and Distribution Reference Book," 1950.

madeira suportam tensões de impulso atmosférico, no mínimo, 51% acima das estruturas metálicas.

Considerando o transporte e instalação, os postes de madeira pesam em torno de 60% menos que o de concreto equivalente e o seu manuseio pode ser feito sem equipamentos específicos, exigindo um menor número de acessórios. Devido a sua elevada elasticidade, os postes de madeira apresentam uma maior resistência aos choques mecânicos comparado aos outros tipos de postes. Podem ser arrastados por animais, morro acima e mata adentro, não precisam de cuidados específicos como o poste de concreto que requer um caminhão Munck para ser instalado (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

A figura 4 mostra um modelo padrão de poste identificando suas características de produção. Na base do poste, normalmente aplica-se um reforço com uma chapa-prego para evitar o rachamento durante o processo de secagem natural. Todo poste sai de produção devidamente identificado com uma placa metálica com dados do fabricante, detalhes de altura, preservativo utilizado e data de fabricação. O topo também pode receber um reforço (arame) para evitar rachamentos, além de receber um acabamento que evita o acúmulo de água na parte superior do poste.

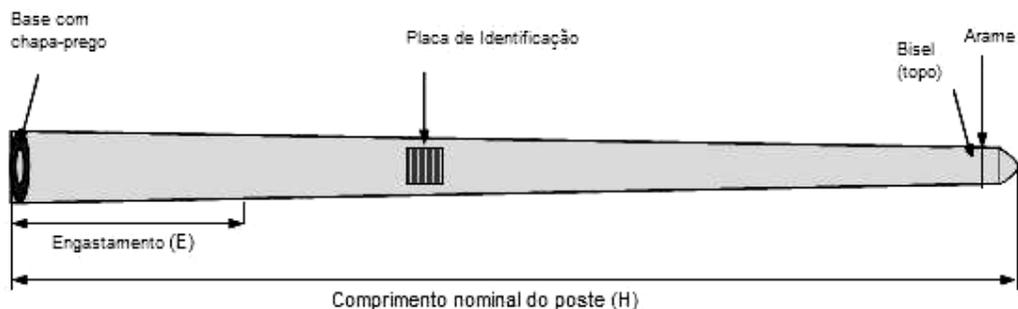


Figura 4 – Modelo de poste de madeira utilizado pela AES Sul (Adaptado de VIDOR, 2003).

A regra para a área de engastamento (quanto o poste será enterrado) depende da altura do mesmo e obedece à equação (1).

$$E = 0,1 \times H + 0,6m \quad (1)$$

Onde E é o comprimento do engastamento em metros e H é o comprimento nominal do poste em metros. A placa de identificação normalmente é fixada na altura da visão, aproximadamente 1,5 metros do solo.

Em seu processo de fabricação, os postes recebem uma marcação de identificação contendo dados básicos do poste (altura, espécie, data de preservação). Esta marcação varia de acordo com cada fabricante, mas normalmente é feita por meio de uma placa de alumínio pregada ao poste na altura da visão (entre 1 e 1,5 metros). Não muito comum, mas também encontrado marcações gravadas no próprio poste em números ou códigos.

Os postes, bem como as demais estruturas de madeira utilizadas atualmente pela AES Sul, são provenientes de madeira de eucalipto cultivado. Quanto à origem, estes postes de madeira, em sua grande maioria, foram produzidos pela CEEE (até outubro de 1998) e AES Florestal desta data até o ano de 2005. A partir de então, os postes são provenientes de fornecedores do RS (Mariani, Flosul e outros) e são comprados de acordo com a demanda.

As espécies utilizadas podem variar em função do seu uso (distribuição ou transmissão elétrica) e da disponibilidade de madeira no momento da produção.

Entre elas, podemos citar :

- *Eucalyptus citriodora*;
- *Eucalyptus saligna*;
- *Eucalyptus alba*;
- *Eucalyptus grandis*;
- *Eucalyptus tereticornis*;
- *Eucalyptus paniculata*;
- *Eucalyptus botryoides*;

As espécies preferenciais na fabricação de postes para linhas de transmissão onde as exigências de esforço nas estruturas é maior do que nas de baixa tensão, são o *Eucalyptus citriodora* e o *Eucalyptus tereticornis*, devido à maior resistência mecânica e boa durabilidade de sua madeira quando tratada.

2.3. Ensaio Mecânicos

Os ensaios mecânicos têm como objetivo determinar as propriedades mecânicas referentes ao comportamento de um determinado material, observando a sua resposta à ação de forças externas sobre determinada área em um corpo, estas respostas são expressas em função de tensões e/ou deformações.

A partir dos ensaios é possível estimar as características, no caso de um material novo ou em desenvolvimento, ou testar processos de fabricação e novos tratamentos. Quando o material é conhecido, os ensaios servem de controle, permitindo obter informações rotineiras do produto e verificar se este atende aos padrões de qualidade estipulados.

Os ensaios são classificados em **destrutivos** e **não-destrutivos**, conforme a integridade geométrica, dimensional e funcional do corpo após o ensaio. Os destrutivos provocam a inutilização total ou parcial da peça; são exemplos ensaios de: Tração, Flexão, Compressão, Dureza, Fadiga e Fluência. Os ensaios não-destrutivos, não causam danos nem inutilizam à peça ensaiada, permitindo seu reaproveitamento. São exemplos ensaios de raios X, ultra-som, infravermelho, medição de umidade pela resistividade elétrica.

Os ensaios aplicados à madeira são normalmente ensaios destrutivos do tipo estáticos, ou seja, a carga é aplicada de maneira suficientemente lenta induzindo a uma sucessão de estados de equilíbrio (ex: compressão, flexão, dureza e torção).

Para ensaios em laboratório, como o ensaio de compressão, são extraídos de parte estrutura corpos de prova de tamanho padronizado.

Como foi citado nas propriedades da madeira, a umidade exerce grande influência nas propriedades mecânicas da madeira, sendo recomendado a sua medição logo antes do procedimento do ensaio em cada peça.

Segundo a norma NBR 7190/1997, a influência da temperatura pode ser considerada como sendo desprezível na faixa usual de utilização de 10°C à 60°C.

Quanto ao tipo de solicitação, os ensaios podem ser classificados como:

Ensaio de **Resistência** : A resistência é a aptidão da matéria suportar tensões. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova isentos de defeitos do material considerado, até o aparecimento de fenômenos de ruptura ou de deformação específica excessiva. Estes ensaios são monotônicos e com velocidade controlada. A partir destes são obtidos os limites de ruptura do material. São ensaios destrutivos.

Ensaio de **Rigidez** : A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. Os ensaios de Rigidez são ensaios com ciclo de carregamento prévio e velocidade de carregamento controlada. Deste ensaio são obtidos os valores do módulo de elasticidade do material.

Outras definições importantes relacionadas aos ensaios mecânicos podem ser citadas, tais como (Garcia et al, 2000):

Deformação é quanto um corpo cede do ponto de vista dimensional quando aplicado uma força sobre uma área do corpo, alterando sua forma.

Resistência : representada por tensões, definidas em condições particulares.

Elasticidade: Propriedade do material segundo o qual a deformação que ocorre em função da aplicação de tensão desaparece quando esta tensão é removida.

Plasticidade: Capacidade de o material sofrer deformação permanente sem se romper

Resiliência : Capacidade de absorção de deformação no regime elástico.

Tenacidade: Reflete a energia total necessária para provocar a fratura do material.

Módulo de elasticidade, ou módulo de Young (E): fornece uma indicação da rigidez do material e depende fundamentalmente das forças de ligação interatômicas, o que explica o seu comportamento inversamente proporcional à temperatura. Quanto maior o módulo de elasticidade, menor a deformação elástica

resultante na aplicação de uma determinada carga. É determinado a partir da região linear do gráfico tensão x deformação (figura 5).

O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade na direção normal às fibras é medido no ensaio de compressão normal às fibras, valores diferentes para cada ensaio.

Pode-se obter o módulo de elasticidade medindo a velocidade do som no material. A velocidade das ondas longitudinais (V) depende do módulo de elasticidade dinâmico (E_d), e da densidade (ρ) do material. No caso de materiais isotrópicos como a madeira, é aplicada uma correção pelo coeficiente de Poisson correspondente à direção longitudinal (μ_{LT}), conforme a equação 2 (HALABE apud. MINÁ, 2004).

$$V = \sqrt{\frac{E_d(1 - \mu_{LT})}{\rho(1 + \mu_{LT})(1 - 2\mu_{LT})}} \quad (2)$$

Onde V é medido por um sistema constituído por dois cristais piezoelétricos em que um emite ondas sonoras e o outro as recebe na extremidade oposta. O ensaio de materiais utilizando ondas sonoras é conhecido como *Ultra-som*.

2.3.1. Ensaio de Compressão

O ensaio de Compressão é utilizado normalmente na indústria da construção civil e mecânica, é utilizado para quantificar o comportamento mecânico do concreto, da madeira, dos compósitos e materiais frágeis (baixa ductilidade).

Não é recomendado o uso de ensaios de tração para materiais cerâmicos e compósitos, pois este possui característica de propagar trincas e fissuras microscópicas orientadas perpendicularmente ao eixo de tração.

Ensaio de Compressão é a aplicação de uma carga uniaxial compressiva em um corpo de prova. O valor resultante do ensaio é a razão da medida linear da deformação obtida a partir da distância entre as placas compressoras pela carga de compressão.

Assim como no ensaio de tração, também é possível determinar características como:

Limite de escoamento (σ_e): representa o limite da região de deformação elástica, pode ser determinado como no ensaio de tração, construindo uma reta paralela à região elástica adotando sua origem no eixo a partir de uma deformação de 0,2% (para o caso dos aços e ferro fundido).

Limite de resistência à compressão (σ_c): Tensão máxima que resiste o material antes da fratura. É o resultado da carga máxima dividida pela área inicial do corpo de prova.

Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0}): Medida de rigidez do material. É determinado a partir do diagrama tensão x deformação gerado durante o ensaio, é a resposta do quociente da tensão convencional pela deformação convencional ou alongamento específico na região linear do diagrama (deformação entre 10 e 50%), como mostra a figura 5.

No caso de materiais orgânicos como a madeira, acontece um fenômeno de rigidez inicial, onde as paredes celulares geram uma força até que a tensão seja suficiente para causar um empilhamento elástico das paredes das células. Neste

ponto ocorre uma deformação considerável sem o aumento significativo da tensão, voltado então a aumentar a rigidez após a compactação.

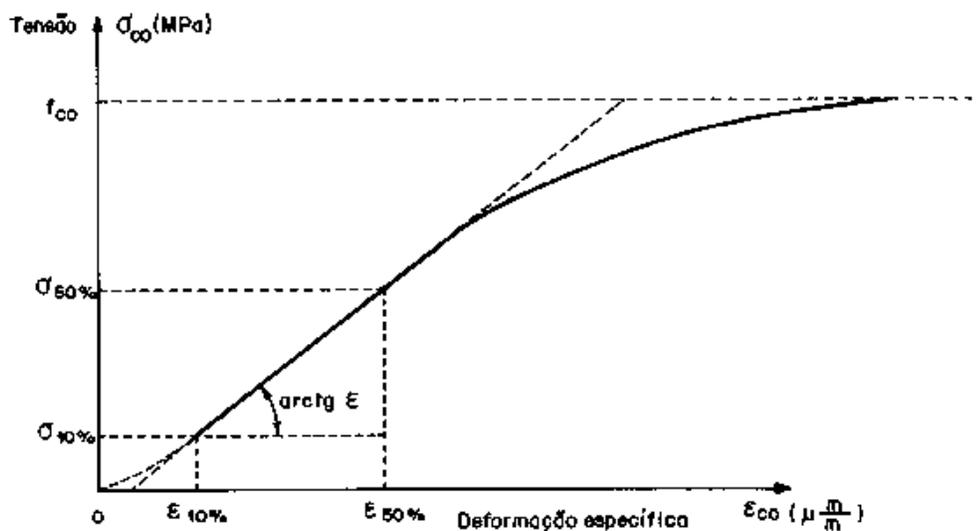


Figura 5 – Diagrama tensão x deformação específica para determinação do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (NBR7190, 1997)

2.3.2. Ensaio de Flexão

Ensaio que consiste na aplicação progressiva de uma carga em determinados pontos de uma barra de geometria padronizada (figura 6). É um ensaio destrutivo, onde o resultado é o valor da carga pela deformação máxima. A carga parte de um valor inicial igual a zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova. O ensaio de flexão mais comum é o ensaio de flexão em três ou quatro pontos, e utiliza corpos de prova em forma de chapa (retangulares).

É bastante aplicado em materiais frágeis ou de elevada dureza, muito utilizado na indústria cerâmica e de metais duros, onde é empregado no controle das

especificações mecânicas de componentes. No caso dos postes, este tipo de ensaio é utilizado para avaliar cruzetas e dormentes.

Os principais resultados são :

- Módulo de ruptura na flexão (S_{uf});
- Módulo de elasticidade (E);
- Módulo de resiliência (U_{rf});
- Módulo de Tenacidade (U_{tf});

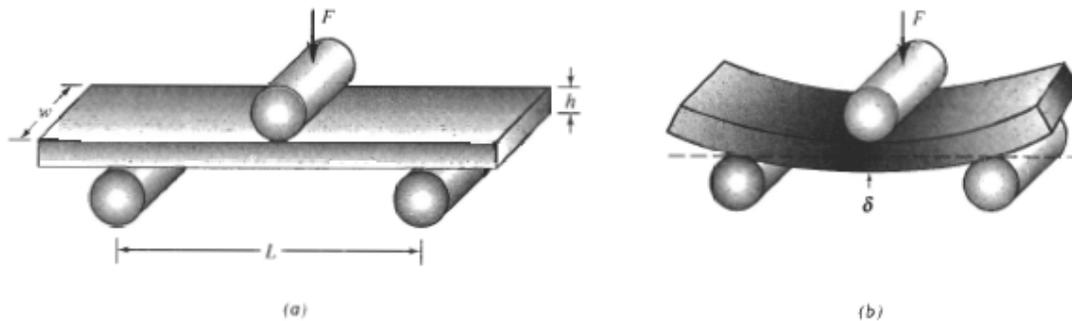


Figura 6 – Exemplo de aplicação de força em um ensaio de flexão em 3 pontos (GARCIA *et al.*, 2000).

Por ser um ensaio que desenvolve complicadas tensões internas, são necessárias algumas considerações para simplificar as equações e facilitar a aplicação e determinação de seus parâmetros :

- Corpo de prova inicialmente retilíneo;
- Material homogêneo e isotrópico;
- Validade da lei de Hooke – material elástico;
- Consideração de Bernoulli – as seções planas permanecem planas;
- Distribuição linear da tensão normal na seção transversal, com a máxima compressão na superfície interna do corpo de prova e a máxima tração na superfície externa.

As propriedades que podem ser obtidas pelo ensaio de flexão são similares às obtidas pelo ensaio de tração e pelo ensaio de compressão, sendo que as principais são:

Limite de elasticidade em flexão: é a máxima tensão de flexão que o material suporta sem apresentar deformação permanente após a retirada de carga.

Limite de escoamento em flexão: é a tensão nominal determinada para a interface entre as regiões de comportamento elástico e plástico, é determinada de forma análoga ao ensaio de tração, respeitando o deslocamento da deformação para cada tipo de material.

Módulo de elasticidade em flexão: relação entre tensão e deformação dentro da região de comportamento elástico.

Estas propriedades apresentam valores diferentes daqueles obtidos na tração ou na compressão devido a natureza do ensaio e a parâmetros como características do corpo de prova e condições de operação e ambientais.

Nos ensaios de flexão os apoios devem ser cuidadosamente projetados de modo a minimizar o efeito da fricção ou do atrito, a carga de flexão deve ser aplicada lentamente.

No caso da madeira, o ensaio é realizado com dois pontos de aplicação de carga, tendo como exemplo o ensaio de cruzetas para postes. Já no caso dos postes, o método recomendado é o ensaio em viga engastada (cantilever) .

Como a resistência da madeira em condições de compressão ao longo das fibras é muito menor que em condições de tração, o processo de fratura começa na região comprimida, na forma de ondulações. A fratura completa ocorre na zona tracionada e consiste na ruptura ou clivagem das fibras externas que resultam na

fratura final. Madeiras de alta qualidade produzem uma fratura fibrosa, e madeiras de baixa qualidade apresentam uma superfície de fratura quase lisa.

Ensaio de flexão utilizado em postes de madeira - **Método engastado**: É um ensaio destrutivo que consiste no carregamento de um corpo de prova engastado submetido a um momento fletor, medindo-se durante a sua execução o momento aplicado e a deflexão da barra (figura7).

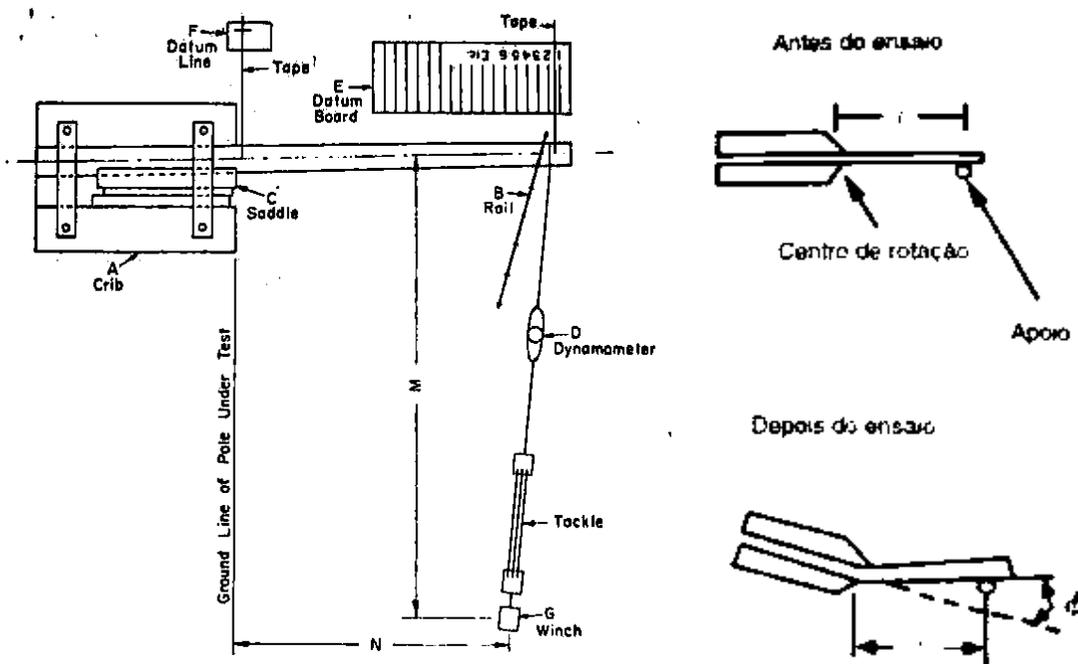


Figura 7 – Esquemático para ensaio de flexão em postes de madeira segundo a norma ASTM D1036 – Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles, 1990.

No caso de postes de madeira, é possível ensaiar a estrutura como um todo, avaliando a sua resistência de uma forma bastante aproximada à sua utilização. Os valores obtidos servem como parâmetro de controle de qualidade das espécies de eucalipto.

2.4. A Tecnologia de Identificação por Rádio Freqüência

O termo RFID, ou seja, “Radio Frequency Identification” designa uma tecnologia de transmissão e armazenagem de dados por meio eletromagnético através de um circuito integrado de rádio freqüência (RF). A tecnologia surgiu inicialmente na década de 1980 como uma solução para os sistemas de rastreamento e controle de acesso, ela basicamente veio suprir as deficiências do sistema ótico de leitura por código de barras (PINHEIRO, 2005).

Em 1999, o MIT juntamente com outros centros de pesquisa partiram para o estudo de uma arquitetura que utilizasse os recursos das tecnologias baseadas em radiofreqüência para servir como modelo de referência para o desenvolvimento de novas aplicações de rastreamento e localização de produtos. Desse estudo nasceu o Código Eletrônico de Produtos – EPC. O EPC definiu uma arquitetura de identificação de produtos que utilizava os recursos proporcionados pelos sinais de radiofreqüência e que foi chamada posteriormente de RFID ou Identificação por Radiofreqüência (Finkenzeller, 2003).

2.4.1. Aplicações

Uma grande variedade de aparelhos eletrônicos como o rádio, a televisão e telefone sem fio utilizam a tecnologia de rádio freqüência para transmitir ou receber informações. Um sistema de identificação RFID opera de uma maneira análoga a um

leitor de código de barras, onde a informação é guardada em uma etiqueta e recuperada por um processo de leitura ótico. A partir daí, um computador conectado ao sistema de leitura recupera os dados e os confronta com um banco de dados onde estão guardadas informações detalhadas sobre o produto.

Trata-se de uma tecnologia que vem sendo aplicada em etiquetas eletrônicas (conhecidas como TAGs ou transponders), usada para facilitar o controle do fluxo de produtos por toda a cadeia de suprimentos de uma empresa, ou seja, um produto pode ser rastreado desde a sua fabricação até o ponto final de distribuição.

O grande diferencial dos sistemas baseados em RFID é o fato de esse padrão permitir à codificação em ambientes insalubres ou expostos a ação do tempo. Permite que a etiqueta de leitura seja oculta dentro de caixas ou do próprio objeto a ser identificado. Tem seu uso indicado para sistemas onde a aplicação do código de barras não é eficiente.

2.4.2. Classificação

Os sistemas de RFID são classificados de acordo com a frequência de excitação e o tipo de alimentação que utilizam. O parâmetro de maior importância é a frequência de excitação gerada pelo leitor, muitas características de um sistema RFID são determinadas por esta frequência, inclusive a distância máxima de leitura e gravação dos dados, imunidade a ruídos e índice de penetração das ondas em materiais não-metálicos. A frequência de excitação também influi diretamente no tipo, formato e tamanho da antena (descrita na seção 2.4.4.3).

Os sistemas de RFID comercialmente disponíveis podem ser classificados em três tipos principais de bandas de frequência: baixa frequência (LF) operando na faixa entre 100 e 500kHz, média frequência (MF) operando entre 10 e 15MHz e alta frequência (HF) de 850-950 MHz até 2.4-5.8 GHz.

Os Sistemas de Baixa Frequência são recomendados para curta distância de leitura (entre 0,3 e 0,6 metros) e de baixo custo operacional. Normalmente utilizados para controles de acesso, rastreabilidade e identificação. Enquanto os sistemas de Média e Alta Frequência são projetados para leitura em médias e longas distâncias (3 à 8 metros) e leituras a alta velocidade. Normalmente utilizados para leitura de TAGs (etiquetas eletrônicas) em veículos e coleta automática de dados.

Além da frequência de operação, os TAGs podem ser ativos ou passivos, dependendo do tipo de alimentação utilizado pelo TAG para enviar o sinal de rádio (ver seção 2.4.4.1). Os TAGs passivos são aqueles que não possuem fonte de alimentação, eles retiram a energia necessária para seu funcionamento diretamente das ondas de rádio. Por sua vez, os TAGs ativos são aqueles que possuem uma bateria ou outra fonte de alimentação junto ao TAG, isso possibilita um maior alcance de leitura, mas também é um item obrigatório quando se trabalha com frequências mais elevadas e que requerem uma maior potência.

2.4.3. Princípio de Funcionamento:

Em um sistema RFID, o leitor e o TAG se conectam utilizando ondas eletromagnéticas, ambos devem utilizar a mesma frequência de operação para poderem se comunicar. O leitor é o responsável pela transmissão do sinal que

excitará a antena do TAG utilizando o princípio da indução magnética de campo próximo como mostra a figura 8. Uma corrente alternada passando através da antena solenóide do leitor cria um campo magnético variável de direção perpendicular ao plano da antena (solenóide).

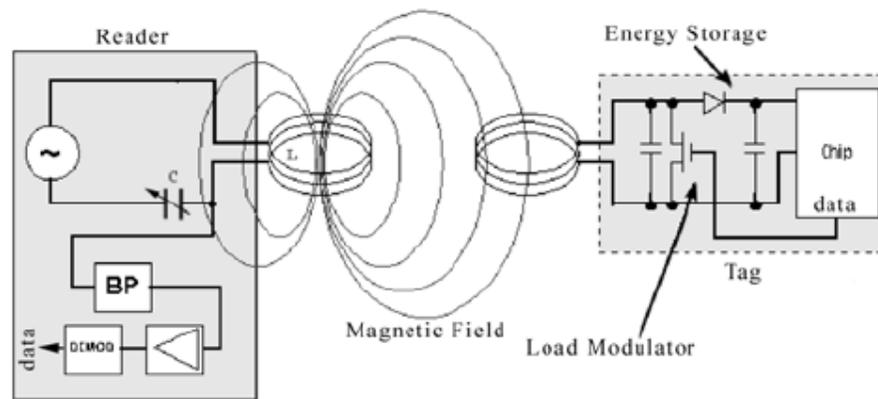


Figura 8 – Princípio de transmissão do RFID: antena em solenóide e campo magnético produzido (FINKENZELLER, 2003).

TAGs passivos utilizam a energia provida pela onda eletromagnética transmitida pelo leitor. O campo magnético induz uma voltagem na antena (solenóide) do TAG, essa voltagem é proporcional ao produto do número de voltas na antena do TAG e o fluxo magnético total que passa pela antena. O circuito integrado do TAG precisa de uma tensão mínima para poder operar.

A tensão induzida pelo campo magnético do leitor (figura 9-a) é armazenada em um capacitor de carga do circuito do TAG. Quando o capacitor atinge um nível de carga suficiente, que ultrapassa a tensão mínima de operação do circuito integrado, este é então ativado e começa a transmitir os dados de volta (figura 9-b) para o leitor.

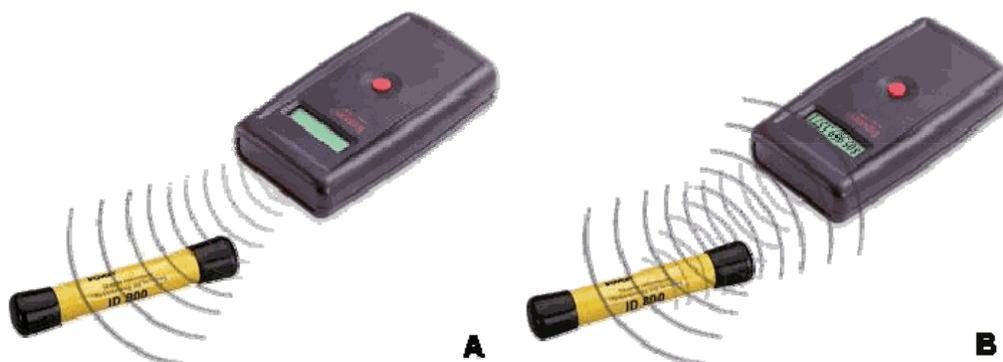


Figura 9 – Etapas do processo de Leitura de um TAG Passivo. (a) leitor estimula TAG, (b) TAG retorna dados (PINHEIRO, 2005).

Dois métodos principais de comunicação podem ocorrer entre o leitor e o TAG: *full-duplex* e *half-duplex*. Ambos, leitor e TAG, devem utilizar o mesmo método de transmissão de modo a sincronizarem e estabelecer uma comunicação para a perfeita transmissão de dados. Na configuração *full-duplex*, o TAG comunica seus dados modulando a onda transmitida pelo leitor, aplicando uma carga resistiva. Um transistor (modulador de carga) no TAG coloca o circuito da antena em curto na seqüência dos dados, removendo a antena da ressonância na freqüência de excitação, ocasionando assim um dreno de força da onda transmitida pelo leitor. No leitor, carga e descarga são detectados e os dados podem ser então reconstruídos. No sistema *half-duplex*, o sinal transmitido pelo leitor fornece potência e pausa. Com a pausa o TAG transmite os dados de volta para o leitor.

2.4.4. Os Componentes de um sistema RFID:

2.4.4.1. Transponder (TAG)

São as etiquetas de RF ou simplesmente TAGs, pequenos dispositivos eletrônicos compostos de uma antena, um capacitor de carga e um microcontrolador

com uma quantidade limitada de memória que pode ser permanente ou regravável. É a parte móvel do sistema que está localizada no objeto a ser identificado.

Os TAGs estão disponíveis em diversos formatos (pastilhas, argolas, cartões, etc), tamanhos e materiais utilizados para o seu encapsulamento que podem ser o plástico, vidro, epóxi, etc. O tipo de TAG também é definido conforme a aplicação, ambiente de uso e performance.

Um TAG pode ser fabricado com ou sem uma fonte de alimentação interna. Os TAG sem alimentação são chamados de *passivos*, e tiram a sua energia de funcionamento da própria onda de RF e armazenam em um capacitor para retransmitir o sinal para o leitor. TAGs passivos não necessitam de manutenção e possuem uma vida útil praticamente ilimitada (Figura 10). Os TAGs *ativos* são fabricados com baterias para alimentar os circuitos eletrônicos o que torna possível a comunicação em longas distâncias.

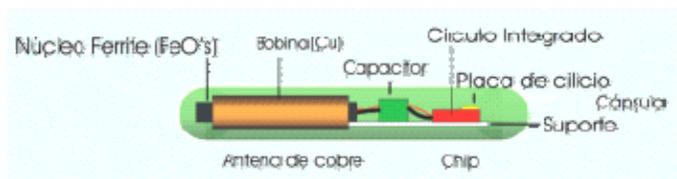


Figura 10 – Modelo de TAG RFID, construção interna (PINHEIRO, 2005).

Geralmente, a frequência de operação do sistema de RFID determina o formato, tamanho e geometria ótimos para o TAG e antena. Para resistir às adversidades do tempo, os TAGs são encapsulados em plástico ou vidro. O encapsulamento protege o circuito eletrônico da poeira, choques, corrosão, desgaste e descargas elétricas.

2.4.4.2. Circuito de Leitura

É o conjunto eletrônico capaz de gerar os sinais de RF na frequência de operação e, dependendo da tecnologia do TAG utilizado, permite a leitura ou a escrita/leitura do transponder.

No caso dos TAGs passivos, a primeira função do circuito de leitura (ou leitor) de RFID é fornecer energia para ativar o TAG. O sistema Leitor-TAG é baseado em uma transferência de energia entre dois circuitos ressonantes. O microcontrolador do sistema de leitura gera um sinal digital na frequência requerida, e o sinal é direcionado para um amplificador de corrente. Após o amplificador de corrente o sinal vai para a antena, que por sua vez gera o sinal ressonante na frequência do sistema e cria as ondas RF. Se um TAG está presente na área de cobertura do sinal, o TAG irá se energizar e retransmitir o sinal de volta para o leitor. É de responsabilidade do leitor decodificar o sinal e finalmente enviar o número de identificação decodificado para o computador ou outro dispositivo conectado.

2.4.4.3. Antena

A antena permite ao dispositivo converter corrente e tensão em uma onda eletromagnética. Ambos, leitor e TAG, precisam ter uma antena de algum tipo para possibilitar a comunicação. A frequência de operação irá determinar o tipo de antena. O tamanho da antena pode aumentar o alcance do sistema, e no caso dos TAGs passivos ela é fundamental para absorver a energia contida na onda eletromagnética.

2.4.5. Os custos da Tecnologia

O mercado de TAGs RFID está em expansão acelerada, de acordo com o relatório da Venture Development Corporation. Desde 2004 segue com uma taxa de crescimento médio anual de 35% (CAGR – Compound annual growth rate) com estimativa de crescimento acumulado de 338% até 2008, atingindo um mercado de 6 Bilhões de dólares, como mostra a figura 11 (VDC, 2005).



Figura 11 – Crescimento do mercado global de RFID, segundo relatório anual da VDC, valores em Milhões de dólares (VDC, 2005).

A tendência do mercado de bens de consumo é migrar para a tecnologia de identificação por rádio frequência. Grandes redes de supermercados como o Wall Mart já estão implantando etiquetas RFID para identificação de produtos, revolucionando o mercado e eliminando as filas do caixa. A estimativa, com o advento da produção em larga escala é atingir o preço de alguns centavos de dólar por TAG. Segundo relatório da VDC, a fatia do mercado de bens de consumo que fazem uso da tecnologia RFID representava, em 2004, cerca de 3% do mercado,

com uma estimativa de crescimento para 22,5% até 2008. No Brasil, o grupo Pão de Açúcar está com um projeto em fase experimental para adotar a tecnologia.

Esta expansão de mercado traz como benefícios diretos o barateamento da tecnologia, e uma significativa redução de custos no produto final: RFID TAGs e leitores. A produção em larga escala e a ampliação do uso da tecnologia para as diversas áreas torna a tecnologia RFID bastante promissora.

A tabela III traz uma base de custos na aquisição dos TAGs e leitores utilizados neste estudo. Os valores estão de acordo com o fornecedor da tecnologia no Brasil (Texas – Pan Arrow), preços em dólar, adquiridos em fevereiro de 2006.

Tabela III – Custos de aquisição dos TAGs e Leitores envolvidos neste estudo (Distribuidora Pan-Arrow Brasil, fevereiro 2006).

	Custo Unitário (até 100 unidades)	Custo estimado em larga escala (>1000 unidades)
TAG RFID Texas – Passivo, Encapsulamento de Vidro, Somente leitura (32 mm -RI-RTP-RR2B)	4,80 U\$ (Em São Paulo)	3,04 à 3,60 U\$ (preço FOB)
TAG RFID Texas – Passivo, Encapsulamento de Vidro, leitura/escrita (32 mm -RI-RTP-WR2B)	5,10 U\$ (Em São Paulo)	De 3,20 à 3,80 U\$ (preço FOB)
Kit Desenvolvimento Texas – Low Frequency, RI-K2A-001-A)	1.295,00 U\$	-
PDA c/ leitor RFID (IP65) – Di400 (Diagnostic Instruments)	9.000,00 Reais com taxas e frete (3.000,00 U\$ bruto)	Descontos de até 40% acima de 30 unidades

Estes equipamentos são encontrados, por enquanto, apenas disponíveis no exterior, no custo unitário dos TAGs da tabela III, está incluído o custo das taxas de importação e transporte para a cidade de São Paulo. Para volumes maiores que 100.000 unidades, pode ser negociado diretamente com o fabricante e utilizada importação direta.

3. Metodologia

A partir das questões levantadas na primeira etapa do projeto, foi adotada uma metodologia levando em consideração às necessidades da empresa AES Sul e a disponibilidade de recursos oferecidos na área de estudo.

Na primeira parte do estudo é feito um levantamento sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira, as principais espécies de eucalipto utilizadas na produção de postes para a AES Sul são escolhidas e ensaiadas de acordo com a norma brasileira NBR7190 - Projeto de estruturas de madeira. A partir dos ensaios realizados, é sugerida uma técnica complementar de caracterização com intuito de melhorar o controle de qualidade para os postes de madeira.

A segunda parte faz referência ao trabalho de campo, a metodologia de inspeção de postes é elaborada a partir da análise de experiências de outras empresas nacionais e internacionais, aplicadas à realidade local e testadas a partir do trabalho de campo. Procedimentos de inspeções foram realizados em diversas cidades ao longo da área de concessão da empresa, todos os dados resultantes foram armazenados em um banco de dados e analisados estatisticamente. As características da rede bem com as considerações encontradas são apresentadas em gráficos e comentadas.

A terceira etapa apresenta uma solução prática para o problema de rastreabilidade dos postes. Um sistema de identificação por rádio-frequência é sugerido e aplicado em áreas de testes. A viabilidade do sistema é testada bem como a sua integração com o sistema de inspeções em campo, os resultados são

apresentados e discutidos. A aplicação de novas tecnologias ao trabalho de inspeção, como no caso da identificação de postes por RFID é inédita nesta área, os testes realizados dão ênfase a questão prática da aplicação.

3.1. Locais da pesquisa

Este estudo foi realizado no estado do Rio Grande do Sul, abrangendo a área de concessão da empresa AES no estado (ver figura 1).

Os ensaios de flexão e testes em campo de apodrecimento bem como testes para validação das etiquetas eletrônicas para o sistema de identificação foram realizados na estrutura da antiga AES Florestal Ltda. Empresa esta que pertenceu à AES Sul durante o período de setembro de 1999 até dezembro de 2005, proveniente da aquisição da empresa estadual de energia (CEEE), localizada em Barreto, distrito do município de Triunfo.

Os ensaios mecânicos de compressão e testes preliminares da tecnologia RFID foram realizados em laboratórios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Aqui, também foi criada uma área de testes controlada localizada dentro do parque tecnológico, o TECNOPUC, nesta foram realizados os testes e desenvolvida a metodologia de aplicação dos TAGs nos postes, testes de leitura e resistência às intempéries bem como os testes de medição de umidade com aparelho eletrônico. As fotos da área de teste encontram-se no Anexo C.

Os TAGs de identificação também foram aplicados a postes em serviço de circuitos de Baixa Tensão – BT. Estes circuitos escolhidos para teste localizam-se no município de Canoas, bairro Vila Igara, nas proximidades das instalações da AES Sul.

3.2. Ensaio Mecânicos com Postes de Madeira.

Sendo o eucalipto a principal fonte de matéria prima para a fabricação de postes utilizados nas redes de transmissão e distribuição de energia, foram realizados testes mecânicos com o objetivo de conhecer melhor as suas propriedades e comparar os dados com a literatura.

Foram realizados ensaios de flexão com postes adquiridos de fornecedores da própria AES Sul. A metodologia empregada baseou-se no sistema de controle de qualidade utilizado na empresa, onde, ao recebimento de lotes (em torno de 50 postes), dois destes são encaminhados para ensaios de flexão. Os ensaios de flexão foram realizados na própria aparelhagem da empresa, com a contribuição de seus técnicos e funcionários. O objetivo deste teste é validar a metodologia empregada pela empresa para a avaliação de seus postes de madeira e obter valores de resistência rigidez para serem comparados com a literatura.

Auxiliar a este procedimento de avaliação foram realizados testes de compressão paralela às fibras de amostras retiradas de postes novos de fornecedores da empresa. Os resultados foram comparados com a literatura e cruzados com os resultados do ensaio de flexão, as vantagens e desvantagens de

cada metodologia e a possível utilização dos ensaios de compressão como metodologia auxiliar no controle de qualidade são avaliados.

A metodologia adotada nos ensaios baseia-se nas normas NBR 7190/97 – “Cálculo e execução de estruturas de madeira” e NBR 6231/80 – Postes de Madeira - Resistência à Flexão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997, 1980).

Os dados resultantes dos ensaios são comparados com a base de dados do acervo tecnológico do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de SP), divisão de produtos florestais e com os dados do anexo E da norma NBR7190/97.

3.2.1. Seleção das Espécies e Preparação das Amostras

A partir das inspeções de campo nos postes em serviço, observou-se a predominância de algumas espécies de eucalipto, dentre elas, foram escolhidas três espécies, sendo uma de alta, uma de média e outra de baixa densidade, para evidenciar as diferenças nas propriedades mecânicas.

As espécies escolhidas para estudo foram :

- *Eucalyptus grandis* (Baixa Densidade) ;
- *Eucalyptus saligna* (Média Densidade) ;
- *Eucalyptus citriodora* (Alta Densidade) ;

Foram adquiridos nove postes (três de cada espécie), novos e de madeira tratada, junto á unidade Usina de Preservação de Madeiras da AES Florestal (UPM-

Barreto). Destes, três postes (um de cada espécie) foram utilizados nos ensaios de compressão, os outros seis foram selecionados para o ensaio de flexão.

Para a confecção dos corpos de prova (CPs) destinados ao ensaio de compressão, teor de umidade e densidade aparente, toras com 500mm de altura foram retiradas da parte inferior de cada poste junto à linha de engastamento (1,5m da base para o caso de postes com 9m de altura), conforme ilustrado na figura 12.

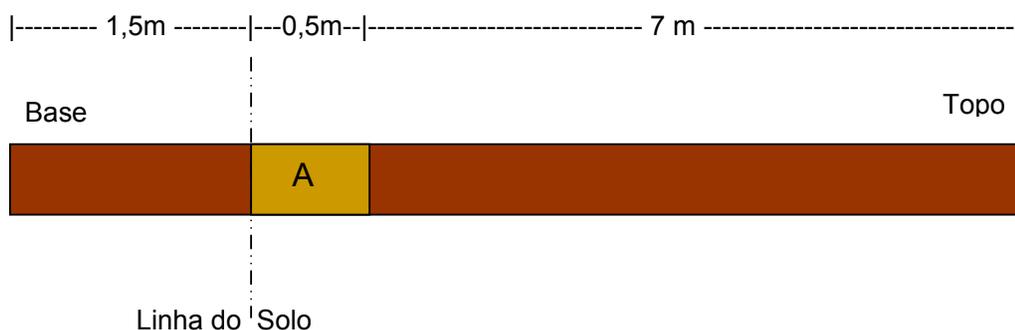


Figura 12 - Ilustração de um poste na horizontal, destacando a região de onde foram retirados as amostras para a realização dos ensaios mecânicos.

A região junto à linha do solo, foi escolhida por ser a região de engastamento do poste, ou seja, a região mais solicitada considerando o poste em serviço. É também esta região que mais sofre deterioração devido a presença de umidade do solo, é a região onde normalmente ocorre a fratura .

As amostras foram então desbastadas e alinhadas para produzir CPs para os ensaios em laboratório conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 – Técnica de obtenção dos corpos de prova para os ensaios de compressão.

Considerando o número limitado de toras disponível e o diâmetro reduzido dos postes em relação ao tamanho e o número de CPs exigidos pela norma, para os ensaios de compressão optou-se pela retirada simétrica das amostras, de modo que partes do cerne e alborno da árvore estejam presentes e sejam replicadas de maneira semelhante a todos os CPs.

Para o teste de determinação da densidade aparente e teor de umidade, foram confeccionados 12 corpos de prova de seção retangular de 20x30mm e 50mm de comprimento, sendo 4 Cps de cada espécie. Cada corpo de prova teve o teor de umidade medido com o aparelho eletrônico utilizado em campo e posteriormente foram submetidos ao processo de determinação de teor de umidade com secagem em forno, conforme indicado pela NBR 7190:

Para os ensaios de compressão a norma exige corpos de prova retangulares com 50x50x150mm, seguindo a orientação paralela às fibras, conforme ilustrado na figura 14. Foram confeccionados 24 corpos de prova para cada uma das três espécies de eucalipto citadas anteriormente.

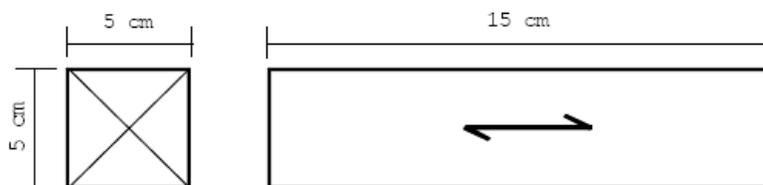


Figura 14 – Esquema para corte dos corpos de prova para ensaios de compressão segundo a norma NBR 7190/97.

3.2.2. Determinação do Teor de Umidade e Densidade Aparente

Para serem válidos e poder serem comparados com a literatura, os testes com a madeira devem ser realizados levando em consideração o coeficiente de umidade, pois este possui uma relação direta com a resistência.

Foram então determinadas a densidade aparente e o teor de umidade para cada uma das três espécies, seguindo as orientações da NBR 7190 descritos a seguir.

As peças sofreram secagem em um forno elétrico com exaustão, à uma temperatura de 103°C. O peso dos CPs foi anotado inicialmente e medido à cada intervalo de 6h, até atingirem o equilíbrio (variação inferior a 5% em relação a última medida). A esta altura os CPs encontravam-se na condição seca ao ar, ou seja, apresentavam um teor de umidade de aproximadamente 12%. A diferença entre o peso seco e o peso inicial é o valor do teor de umidade da peça, e o valor do peso seco dividido pelo volume equivale aos valores de densidade aparente de cada corpo de prova.

O teor de umidade foi determinado também com o auxílio de um aparelho eletrônico de Umidade modelo DL2000 da marca Digisystem, utilizado nos trabalhos de campo. Este aparelho utiliza ponteiras metálicas para a aquisição do teor de umidade, seguindo o princípio de medição por resistividade conforme mostra a Figura 15.

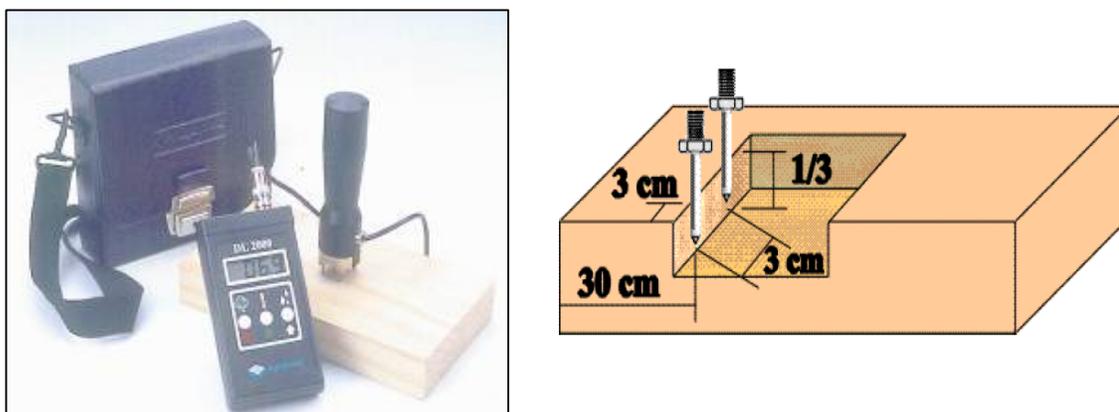


Figura 15 – Medidor de Umidade DL2000 e princípio de operação (DIGISYSTEM, 2005).

A medição de umidade com este aparelho foi realizada nos mesmos corpos de prova, antes do teste de secagem em forno. Tendo os valores de umidade obtidos para ambos os métodos, foi possível comparar com os resultados e validar o medidor eletrônico.

Vale lembrar que este mesmo equipamento eletrônico foi utilizado para fazer a determinação do teor de umidade para todos os corpos de prova dos ensaios mecânicos. E, caso haja necessidade, os valores de resistência e rigidez podem ser corrigidos para o valor de umidade teórico de 12% (NBR7190, 1997)

Foi testada a viabilidade para o uso em campo do aparelho portátil de inspeção (DL2000) como uma técnica não destrutiva auxiliar no processo de inspeção dos postes.

3.2.3. Ensaio de Compressão

Os ensaios de Compressão foram realizados em uma máquina de ensaio universal EMIC modelo PC 200i (Figura 16) do laboratório de estruturas da engenharia civil (PUCRS), acoplada a uma célula de carga de 30 Toneladas. Para a determinação do módulo de elasticidade foi acoplado mais um acessório; um extensômetro eletrônico com resolução de $0,1\mu\text{m}$. O extensômetro é um dispositivo eletrônico de alta precisão que coleta os dados sobre a deformação dos CPs ao serem comprimidos.



Figura 16 – Máquina utilizada para os ensaios de compressão: EMIC PC200i

Para ambos os ensaios de compressão foram utilizados nove CPs de cada espécie, e cada um teve seu valor de umidade mensurada no momento do ensaio por um medidor eletrônico de Umidade. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente com o auxílio do aplicativo Tesc da própria empresa EMIC.

3.2.3.1. Compressão Paralela às Fibras

Realizado seguindo as recomendações da norma NBR 7190/97 – Ensaio de Compressão paralela às fibras e realizado com uma velocidade de carga constante de 10MPa/min. A partir deste, foram obtidos as tensões máximas de ruptura à compressão e, por conseguinte a resistência característica à compressão paralela às fibras (f_{c0}) para cada espécie de madeira.

As nove amostras foram submetidos a ensaio na máquina EMIC (equipada com a célula de carga) até a sua ruptura, excluindo as amostras que apresentaram um comportamento anômalo devido à alguma imperfeição (nó, rachadura) no corpo de prova (Figura 17). O software de aquisição de dados gerou a curva de Tensão x Tempo de cada corpo de prova.



Figura 17 – Ensaio de Compressão até a ruptura, peça excluída da análise estatística por apresentar rachaduras e propriedades mecânicas inferiores.

A força de resistência máxima foi utilizada como base para o ensaio da curva de Tensão x Deformação

3.2.3.2. Módulo de elasticidade à Compressão Paralela às fibras

Foi realizado o mesmo procedimento do ensaio de compressão paralela às fibras, com a diferença de que a máquina EMIC estava agora equipada com o extensômetro para medir as deformações da peça enquanto o software montava a curva de Tensão x Deformação (figura 18).



Figura 18 – Detalhe do acessório; extensômetro utilizado para aquisição da deformação da madeira nos ensaios de compressão.

Como determina a norma, antes do começo de cada ensaio foi necessário realizar uma pré-carga no material. Para uma pré-carga de 50% da tensão máxima de resistência à compressão foi aplicado em um ciclo de 30 segundos, como ilustra o gráfico (figura 19).

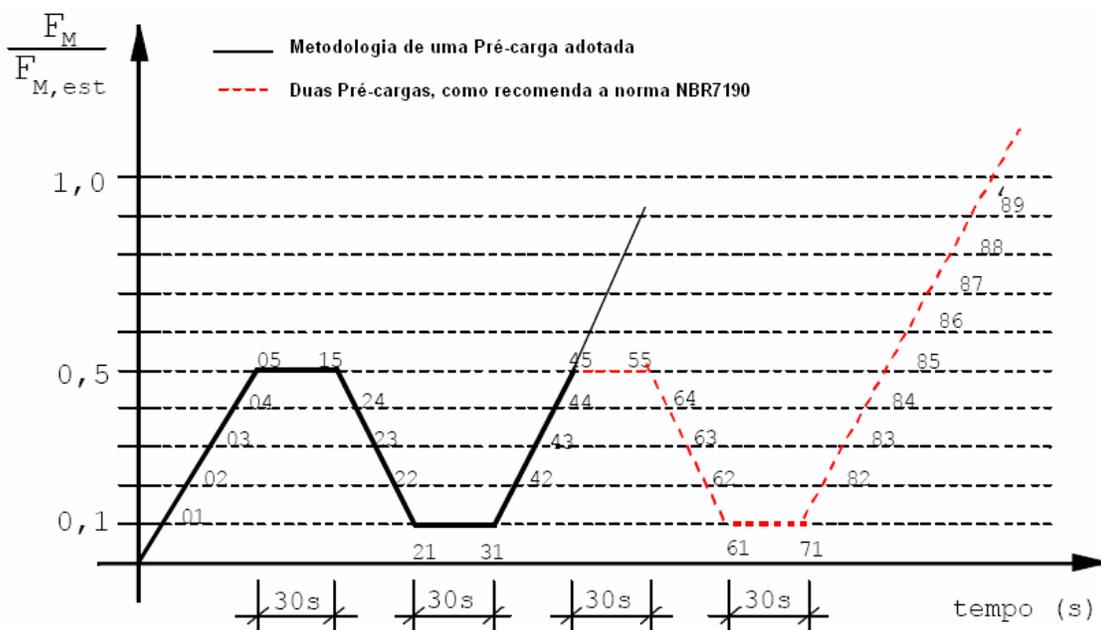


Figura 19 – Gráfico de pré-cargas seguindo a norma NBR em comparação com a metodologia adotada (Adaptação .NBR 7190, 1997)

Esta pré-carga é necessária para evitar deformidade na curva gráfico ocasionada pela “acomodação” das fibras da madeira. Porém, apesar da norma recomendar dois ciclos de carga, optou-se por realizar apenas um, devido a uma limitação da máquina de ensaios. A EMIC PC200i não possui controle automático de carga, assim as pré-cargas eram realizadas manualmente. Esta foi uma adaptação do procedimento necessária para as condições de maquinário disponíveis.

3.2.4. Ensaio de Flexão

O ensaio de Flexão foi realizado seguindo a norma utilizada pela a AES Florestal : NBR 6231/1980 – “Postes de Madeira – Resistência à Flexão”. Nesta, cada poste é fixado na altura de engastamento (segundo a fórmula (1)) em um

berço de concavidade maior ou igual a convexidade do poste. A carga é então aplicada continuamente até a ruptura.

A velocidade de carga é determinada pela fórmula (NBR6231, 1980) :

$$V = K \times \frac{hu}{C} \quad (3)$$

Onde :

V = Velocidade de deformação em cm/min.

hu = Braço de alavanca em cm.

C = Circunferência na seção de engastamento em cm.

K = 0,00146

Dois postes de cada espécie estudada foram submetidos a ensaios, num total de 6 postes. Os ensaios foram realizados na antiga usina de tratamento da AES Sul em Barreto – RS, baseados na mesma metodologia empregada pela empresa. A figura 20 ilustra a base de testes na UPM.



Figura 20 – Ensaio de Flexão realizado na Usina de Preservação de Madeira no distrito de Barreto.

Foram ensaiados dois postes por espécie, sendo que no segundo poste ensaiado, foram feitos 3 furos na base do poste (figura 21) representando o retratamento químico da empresa PRESCHEM (PRESCHEM, 2004). O objetivo era detectar variações na resistência do poste devido ao enfraquecimento causado pelos furos na base.



Figura 21 – Furos representando o retratamento da PRESCHEM (2004).

Devido ao reduzido número de postes ensaiados, o teste teve caráter comparativo, os furos utilizados no retratamento não tiveram influência significativa no ensaio e está de acordo com o relatório fornecido pela Preschem. Neste relatório está documentado um ensaio de flexão realizado com 3 lotes de 36 postes onde foi analisado estatisticamente a influência dos furos do retratamento na perda de resistência mecânica dos postes em ensaio de flexão, a conclusão não aponta nenhuma diferença significativa na resistência dos postes com e sem furos (diferença menor que 1,32 vezes a variância para uma probabilidade 95% de confiança) (Preschem/Consulting & Power, 2005).

3.3. Inspeção de Postes em serviço.

Em parceria com a empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A foi desenvolvido um trabalho de inspeção por amostragem nos postes da rede de distribuição. O objetivo desta etapa é, através das inspeções em campo, atualizar e ampliar o banco de dados com informações estatísticas sobre a condição dos postes da empresa.

Durante a primeira fase do projeto, foram inspecionados cerca de 500 postes na região da grande Porto alegre, essa base de dados foi então ampliada para 10000 postes distribuídos por toda área de concessão da empresa no estado.

A metodologia para a inspeção apresentada neste trabalho, foi desenvolvida a partir de estudos baseados em normas de inspeção nacionais e internacionais. Padrões adotados por empresas como CPFL (2001), ENERGYAUSTRALIA (2000 e 2002), ENERSUL (1998), foram utilizados como base para o desenvolvimento desta metodologia, juntamente com contribuições de funcionários de AES Sul. Também foram levadas em consideração metodologias praticadas em outros países, agregando-se condutas consideradas complementares, e que foram definidas a partir das peculiaridades geográficas, de clima e da disponibilidade de recursos oferecidos na área do estudo. Todos os dados deste estudo serão fornecidos posteriormente à empresa AES Sul, para a formulação da sua própria norma.

A definição dos municípios a serem abordados contou com a participação das equipes técnicas da AES Sul e da PUCRS buscando obter uma boa representatividade dentro da área de concessão da empresa, a qual encontra-se

sub-dividida em cinco regiões administrativas: Metropolitana, Vales, Central, Fronteira Norte e Fronteira Sul (ver figura1).

3.3.1. Inspeção dos Postes

Foram inspecionados 10.189 postes distribuídos por toda área de concessão da empresa no estado. As inspeções são feitas seguindo critérios distintos para as zonas rurais e urbanas dos municípios conforme descrito abaixo:

- Zona Urbana – foram inspecionados circuitos de Baixa Tensão (BT) em bairros distintos do município. A escolha dos bairros e circuitos será feita com base na variabilidade estatística, contando com o apoio e conhecimento técnico das equipes da AES Sul auxiliada pela Base de Dados e Informações (BDI) da empresa;
- Zona Rural – foram inspecionados circuitos de Alta Tensão-AT seguindo-se os troncais de alimentadores previamente determinados.

O total de postes inspecionados em cada zona está relacionado com a representatividade destes perímetros em cada município inspecionado. A relação completa de municípios, postes e distribuição de zonas pode ser encontrada no Anexo A – Programa de inspeções.

Cada poste é avaliado utilizando técnicas não destrutivas de inspeção, baseadas em um protocolo previamente determinado (Figura 22). Uma vez realizada

a inspeção, o poste é classificado em categorias relacionadas ao seu estado de conservação.



Figura 22 – Fotos mostrando as diferentes etapas de um procedimento de inspeção dos postes em campo.

Metodologia de Inspeção: Inicialmente o poste é inspecionado visualmente à procura de rachaduras ou falhas que comprometam a estrutura do poste. Após, utiliza-se um martelo para fazer a inspeção por percussão (figura 22-a); é observado a resposta sonora às batidas do martelo, com a finalidade de identificar regiões com apodrecimento interno que emitem um som distinto ao das regiões maciças da madeira.

Em seguida é feita uma escavação no solo ao redor do poste até uma profundidade de trinta centímetros, para a verificação externa da estrutura em sua região de engastamento (figura 22-b).

Com a região de engaste à mostra, é feito uma raspagem da superfície do poste com uma espátula a fim de determinar regiões com apodrecimento externo. Com uma broca é feito um furo na altura da linha do solo, perpendicular ao eixo do poste de modo a prosseguir com a inspeção interna (figura 22-c). Com uma ferramenta especial faz-se a medição do diâmetro da porção interna de madeira ainda em boas condições (figura 22-d).

As informações referentes ao estado de conservação do poste são utilizadas na sua classificação, que representa uma escala de números (de 1 a 4) e cores (verde, amarelo, laranja e vermelho). De acordo com a classificação é sugerido um procedimento de manutenção, conforme a Tabela IV.

Tabela IV – Parâmetros para classificação dos postes inspecionados e procedimentos a serem adotados.

Inspeção		Classificação Do Poste	Tomada de Decisões	
Interna	Externa		Estado do Poste	Procedimento
Mais de 100 mm de madeira sadia	Externo sem apodrecimento	1	Poste sadio	Nenhum
De 70 a 100 mm de madeira sadia	Máx. 10 mm de madeira podre	2	Início de apodrecimento	Retratar interno e/ou externo
De 30 – 70 mm de madeira sadia	Máx. 20 mm de madeira podre	3	Apodrecimento avançado	Retratar interno e/ou substituir
Menos de 30 mm de madeira sadia	Externo totalmente podre	4	Poste comprometido	Substituir

As coordenadas geográficas para a localização e posterior mapeamento dos postes são obtidas com um GPS portátil (modelo Garmin *eTrex*). Logo a seguir estas coordenadas são transferidas para um computador portátil onde, com o auxílio do aplicativo *GPS Trackmaker*, são montados mapas digitalizados contendo o arruamento associado aos postes inspecionados.

Dados como: data de fabricação, localização, equipe, nº do circuito, placa, estado do poste, coordenadas, entre outras são anotados na planilha de inspeção (Anexo B) para, posteriormente compor a base de dados utilizada nos tratamentos estatísticos e diagnóstico do estado geral dos postes.

3.3.2. Retratamento

O processo de retratamento dos postes consiste em prolongar a vida útil da madeira através da ação de produtos químicos sobre os agentes deterioradores. Serão utilizados dois métodos para o retratamento dos postes:

Bioguard e *Polisaver Wood*: estes dois preservativos foram fornecidos gratuitamente para testes pela empresa australiana *Preschem* para verificação da sua eficácia no combate aos agentes deterioradores da madeira. Os dois preservativos tem como base os produtos químicos Boro e Flúor, sendo que o *Bioguard* vem na forma de uma bandagem que se fixa na superfície do poste por meio de uma fita sendo uma parte enterrada no solo e uma pequena porção do preservativo visualiza-se na parte inferior do poste junto à linha do solo. Já o *Polisaver Wood* possui como base também Boro e Flúor, porém a sua aplicação é feita por meio de três furos feitos em ângulo de 45° no poste junto a linha de solo onde são colocados de dois a três bastonetes em cada furo e logo após são tampados com um pequeno tampão plástico (figura 23).

No contato com a umidade interna do poste este produto dissolve vagarosamente, liberando seu ingredientes ativos que impregnam na madeira na porção interna (bastonetes) e externa (bandagem) do poste.

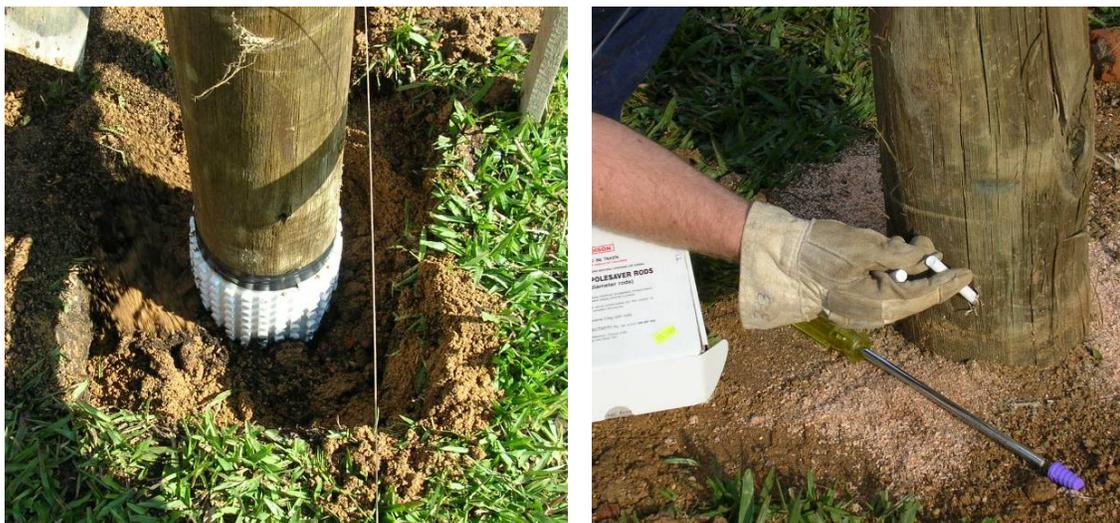


Figura 23 – Fotos dos preservativos sendo aplicados: A bandagem Bioguard (esquerda) e os bastonetes Polisaver (PRESCHEM, 2004).

Esta metodologia de retratamento de postes está associada ao trabalho de inspeções distribuído pela área de concessão da empresa. Prevê o retratamento de cerca de 5% dos postes inspecionados para uma futura avaliação deste novo preservativo.

3.4. Sistema eletrônico de identificação e rastreamento dos postes

Na primeira etapa do projeto, durante as inspeções em campo, foi detectado que, uma média de 62% dos postes em serviço inspecionados, não possuíam nenhuma identificação (VIDOR, 2003). Isto traz prejuízos a empresa, visto que perde-se toda a rastreabilidade dos postes. Sem a identificação, não é possível

saber a origem, espécie, tempo em serviço, tratamento e retratamentos, entre outros dados importantes para a manutenção da rede. Torna-se impossível detectar defeitos na fabricação, tratamentos ineficientes e demais problemas que reduzem a vida útil dos postes.

Atualmente, cada poste recebe uma placa de identificação confeccionada em alumínio. Nela estão impressos dados referentes à fabricação do poste. Ao serem colocados em serviço, a maioria destas placas se perde, são depredadas ou tornam-se ilegíveis com a ação do tempo (VIDOR, 2003).

A partir desta problemática, foi sugerido então um sistema de identificação de postes eletrônico. Sistema este, que viria a suprimir as deficiências do atual sistema de identificação, substituindo as placas de metal pregadas em cada poste por etiquetas eletrônicas.

Este novo sistema tem como base uma tecnologia conhecida por RFID, que se constitui na utilização de etiquetas eletrônicas conhecidas como *TAGs* na identificação de cada poste.

Os *TAGs* escolhidos para esta aplicação são do tipo passivo e operam em uma frequência próxima aos 125Khz. São encapsulados em vidro, o que os torna resistentes aos tratamentos químicos da madeira. Como os *TAGs* são lidos eletronicamente, isso permite que estes dispositivos fiquem ocultos na madeira; a idéia é que, ocultos dentro de cada poste, os *TAGs* ficariam protegidos contra as agressões externas, tanto pela ação das intempéries como protegido contra vandalismo ou qualquer dano físico que possa arrancar ou inutilizá-lo.

A leitura dos dados é por meio de um dispositivo eletrônico, o que torna o sistema mais seguro, restringindo o acesso às informações por pessoal não

autorizado. Como os TAGs escolhidos possuem uma quantidade limitada de memória, todos os dados referentes a fabricação poste e qualquer outro dado complementar proveniente das inspeções de campo são armazenados em um banco de dados externo.

Por uma questão de custos, os TAGs experimentados foram do tipo somente leitura, ou seja, não possuem memória para armazenamento de dados. Assim, cada TAG vêm gravado de fábrica com um número único, de 64 bits, que será associado a cada poste. O custo de importação deste tipo de TAG varia entre 7 e 12 reais, dependendo do volume e negociação com o distribuidor nacional. Este preço, se comparado com o custo de uma placa metálica de identificação (cerca de 20 centavos de real) pode parecer elevado, assim, os ganhos com implantação desta tecnologia serão postos à prova.

Uma importante consideração ao escolher este tipo de tecnologia de comunicação que utiliza a Rádio Freqüência, é com relação à legislação brasileira. A ANATEL, órgão responsável pela regulamentação do uso das faixas de freqüência em território nacional, possui regulamentações sobre o uso restrito de cada faixa de comunicação.

Foi realizada uma pesquisa sobre as possíveis implicações do uso desta nova tecnologia, com o objetivo de verificar se ela estaria de acordo com a legislação vigente. A ANATEL não possui uma regulamentação específica para dispositivos RFID de baixa freqüência, mas de acordo com a resolução No. 365 (ANATEL, 2004), o dispositivo de RF utilizado neste trabalho respeita os limites de intensidade de emissão de campo magnético, tanto para os itens de máxima potência de transmissão, como para os valores máximos de intensidade de campos magnéticos para a faixa de freqüência de operação. Pode assim ser utilizado com dispensa de

licença de funcionamento para a aplicação proposta, além de ser um sistema de RF de curto alcance e frequência de operação específica, que reduzem significativamente as chances deste causar interferências em outros dispositivos.

3.4.1. Testes da Tecnologia em Laboratório

Para esta primeira aplicação, foi adquirido um kit de desenvolvimento de aplicações RFID da empresa TEXAS Instruments, e uma amostra de poste de eucalipto (não tratado quimicamente) de uma das espécies utilizadas pela companhia de energia elétrica.

A partir da documentação do fabricante e do uso do kit de Desenvolvimento, foi implementada a primeira plataforma de testes para comprovar a viabilidade da utilização da tecnologia RFID.

O objetivo dos testes em laboratório era delimitar a área de leitura dos TAGs, e identificar quaisquer fontes de interferência que prejudiquem o desempenho do sistema, para assim confirmar a viabilidade do uso desta tecnologia em campo.

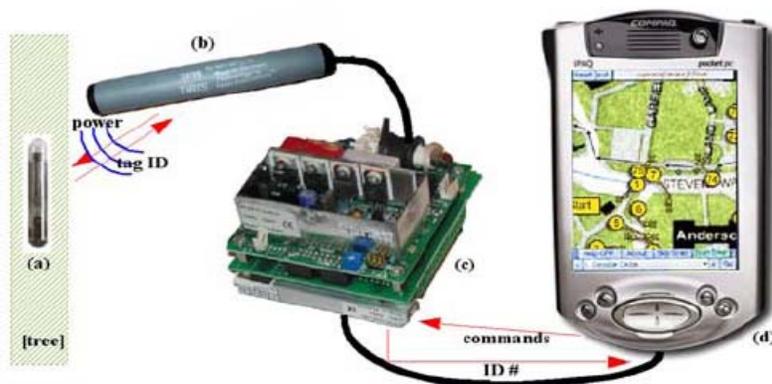


Figura 24 – Aplicação da Tecnologia RFID : a) TAG oculto na madeira; b) Antena RF; c) Dispositivo de leitura; d) Sistema portátil de armazenamento de dados (HOYT, 2003).

A figura 24 traz uma ilustração completa da aplicação de campo do sistema de identificação por RF, composto por :

(a) TAG aplicado no interior do poste:

Transponder de 32mm "SAMPT" (RI-TRP-IR2B), passivo, com encapsulamento de vidro a ser instalado no interior de cada poste durante os trabalhos de inspeção, ficando assim oculto na madeira e protegido contra intempéries e vandalismo. Cada TAG possui um número único que identifica cada poste, este número só pode ser lido com o auxílio de um dispositivo de leitura RF.

(b) Antena de leitura:

Antena, modelo "Stick Antenna" (RI-ANT-S01C), que permite a propagação das ondas de Rádio Frequência que alimentam o TAG. Em formato de bastão para facilitar o manuseio durante o processo de leitura dos TAGs a uma distância de até 0,5m (ver figura 25).

(c) Leitor RFID:

Circuito eletrônico fabricado pela TEXAS Instruments "S2000 Reader" (RISTU-MB2A) que gera a potência necessária para alimentar a antena e transmitir o sinal de ativação dos TAGs. O leitor também interpreta os sinais de rádio que retornam de cada TAG, decodifica e transmite os dados para o PDA.

(d) PDA :

Computador de bolso, responsável pela interface Homem-máquina. Nele estão instalados os softwares que farão a coleta dos dados. Cada número recuperado a partir da leitura dos TAGs, será armazenado e associado a cada poste em um sistema de banco de dados. A plataforma portátil transmite os dados coletados nas inspeções de campo para o computador central da empresa que, por sua vez, anexa estas informações à base de dados do projeto.

Segundo as especificações do fabricante (TEXAS, 1996) para o tipo de antena escolhido, a orientação de maior alcance determinou os protocolos de instalação dos TAGs nos postes em campo. O maior campo de leitura se dá quando o eixo da bobina da antena e do TAG estão alinhados com um ângulo de 0° , como mostra a figura 25.

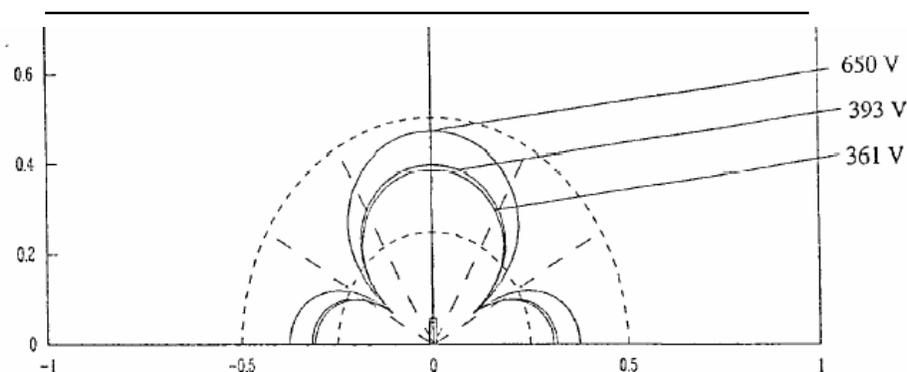


Figura 25 – Diagrama da antena S01C (ângulo de 0° em relação ao TAG). Tensão de operação de 361 V, 393 V e 650 V. Escala em metros (TEXAS, 1996).

Outro fator determinante na distância máxima de leitura é a tensão pico a pico produzida na antena, quanto maior a tensão, mais longe é o alcance do campo magnético produzido. Como a legislação brasileira determina um limite máximo de

potência de transmissão muito superior ao máximo suportado pela antena em uso, a distância de leitura poderia ser ajustada para o máximo e assim a distância de leitura poderia chegar próxima aos 0,5m do TAG.

Os experimentos, porém, foram realizados com a Tensão mínima de operação da antena (361V), o que caracteriza o pior caso. Além disso, 361V é justamente a tensão de operação do aparelho portátil de inspeção utilizado em campo. Como o objetivo era provar a viabilidade do uso em campo desta tecnologia, a plataforma de testes de laboratório foi calibrada para operar nas mesmas condições da plataforma de campo. Com isso foram realizados testes para medir e mapear a área de leitura dos TAGs aplicados em postes de energia.

Uma limitação da tecnologia RFID é a atenuação dos sinais de radio por materiais ferromagnéticos. Por isso, foi realizado um teste para determinar o alcance máximo de leitura e medir qualquer tipo de atenuação por elementos metálicos presentes nos compostos usados no tratamento da madeira, bem como a possível presença de campos magnéticos induzidos pela linha de transmissão de energia que podem interferir na leitura, a exemplo de aplicações da tecnologia que foram levantadas durante a revisão bibliográfica.

Tendo estes parâmetros em vista, a metodologia do experimento foi desenvolvida. Foram feitos dez testes no total. Cinco deles com a antena paralela ao TAG e cinco com a antena perpendicular ao TAG. Os cinco testes, das duas fases, com ângulos diferentes, no sentido horizontal. Como mostra a figura 26.

Foram realizadas leituras em diferentes ângulos e distâncias do TAG instalado dentro de um poste de testes. O TAG foi inserido dentro do poste seguindo um protocolo de instalação desenvolvido neste trabalho e descrito a seguir, nos

testes de campo. O poste de teste, na verdade é uma tora de um metro retirado de um poste novo da espécie *Eucalyptus grandis* à altura da linha do solo.

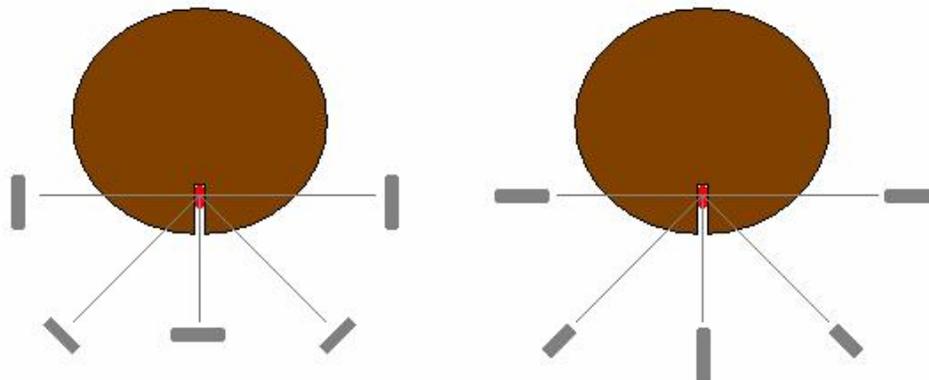


Figura 26 – Vista de corte horizontal, indicando o TAG (em vermelho), o poste (marrom), e a antena de leitura (em cinza). Esquema dos testes de leitura.

Foi montada uma escala em duas dimensões seguindo o corte horizontal da linha de instalação do TAG, nesta escala foram marcadas as diferentes distâncias e ângulos de leitura de acordo com a figura 27.

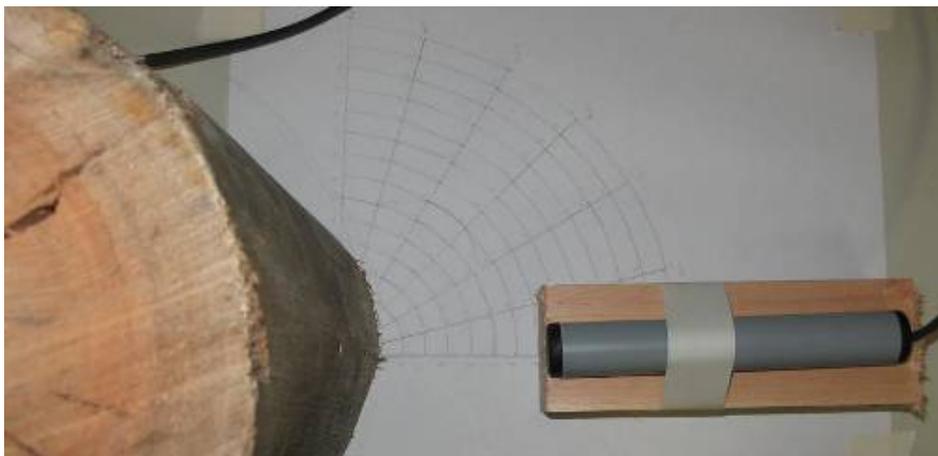


Figura 27 – Esquema de montagem do teste de bancada para determinar a área de leitura dos TAGs implantados na madeira. Escala para medição das distâncias máximas de leitura em diferentes ângulos.

As posições de leitura correspondiam a distâncias de 1 cm em relação ao eixo do TAG e medidas angulares de 0 a 90 graus, com um ponto a cada 15 graus. Em

cada posição eram realizadas 100 leituras seqüenciais do *TAG*. Os resultados foram anotados em uma tabela.

Em outro teste realizado, o *TAG* foi posicionado no mesmo eixo da antena e em sua distância máxima de leitura, ainda inserido dentro do poste. Nesta posição, foi testado de modo a detectar interferências que prejudicariam o desempenho de leitura, diferentes materiais foram colocados entre a antena e o *TAG*, incluindo materiais metálicos e madeira com diferentes teores de umidade. Foram colocadas linhas de energia próximas ao leitor de modo a produzir campo eletromagnético similar ao encontrado nas linhas de distribuição.

3.4.2. Testes da Tecnologia em Campo

A partir dos testes de laboratório foi elaborada a metodologia de aplicação do *TAG* no poste em serviço. Foram levados em consideração práticas de inspeções em campo, questões de ergonomia de trabalho e medidas para melhorar o sistema de leitura RF concluídas a partir dos testes de bancada. Foi criado assim, um **protocolo de instalação do *TAG*** :

Metodologia de aplicação dos *TAGs* de identificação em postes:

- Perfurar o poste a uma altura de um metro do chão com o furo disposto perpendicularmente à linha de energia, em direção à rua (quando aplicável);
- Perfuração de cinco centímetros com broca de madeira com diâmetro de 4,5mm;

- Inserir o *TAG* no furo, com a parte da antena apontando para fora do poste;
- Cobrir o furo com resina epóx;

Após os testes de bancada, foi realizada uma extensa pesquisa entre os fabricantes e integradores da tecnologia RFID. Foi dimensionada então uma solução portátil, um PDA que teria a capacidade de coletar dados, fazer leitura dos *TAGs* nos postes, agregar os dados a um banco de dados e transmitir as informações para a empresa.

A solução encontrada foi um modelo de PDA com leitor de RFID de 134 kHz da empresa integradora DI – Diagnostics Instruments, o modelo adquirido foi um “Rugged Handheld DI-400 RFID”. Este PDA possui integrado todo o equipamento de leitura dos *TAGs*, incluindo a antena.

O software de teste utilizado foi compilado a partir do “DI-400 Personality Development Kit” fornecido pelo fabricante, atuando em conjunto com a plataforma de desenvolvimento “Embedded Visual C++ 4.0” da empresa Microsoft, com download gratuito disponível pela internet. Esta é uma poderosa plataforma de desenvolvimento que utiliza a programação em C++, orientada à objetos, voltada para o sistema operacional do PDA – Windows CE 1.1.

Para esta etapa de testes, foi alocada uma área experimental localizada em um terreno de 16 m², em local reservado dentro do Tecnopuc, no campus central da PUCRS. Nesta área foram plantados um total de nove mourões, três de cada uma das espécies estudadas. São mourões de 2 metros de altura, retirados da base de postes de energia. Foram enterrados de acordo com as normas de instalação para postes de 9 metros, com a base enterrada a 1,5 metros abaixo do solo e separados

entre si por uma distância de 2 metros. O topo de cada mourão foi protegido com um “chapéu” de alumínio para impedir a infiltração de água e um possível rachamento. O esquema de construção da área de testes e distribuição dos postes, juntamente com as fotos do local está detalhado no Anexo C – “Área de testes – TECNOPUC”.

Estes mourões servirão para validar a metodologia de instalação dos TAGs, aplicação da resina de proteção e testes de durabilidade. Servirão para o teste do aparelho portátil de inspeção e para possíveis demonstrações e treinamentos relacionados à esta proposta.

A área de testes também está a disposição de outros pesquisadores e departamentos relacionados ao projeto, estão sendo desenvolvidos testes paralelos de microbiologia e fungos, e degradação da madeira. É uma área reservada, com acesso restrito, possui cerca e energia para a instalação de equipamentos para a aquisição de dados on-line.

Além dos experimentos realizados na área de teste no Tecnopuc, a proposta de RFID foi levada a campo, instalada em postes de linhas de transmissão de baixa tensão em atividade, cuidadosamente escolhidas que permitirão situações reais de teste e aplicação da tecnologia.

Foram implantados TAGs em pontos estratégicos de linhas de transmissão situadas no município de Canoas, no bairro Igara, próxima à sede da AES Sul. Os TAGs estão sendo monitorados periodicamente, desde sua data de aplicação (novembro de 2005), pelo menos uma leitura mensal é feita.

A proposta de utilização de TAGs em postes de madeira foi estendida também ao uso em postes de concreto. Na mesma região de testes em Canoas, foram implantados TAGs de identificação em postes de concreto, seguindo a

metodologia de instalação desenvolvida. Estão sendo acompanhados juntamente com os postes de madeira.

3.4.3. Testes da aplicação dos TAGs no processo de fabricação dos postes.

A partir do estudo de viabilidade da aplicação da tecnologia, é proposta então uma ampliação do seu uso para a aplicação dos TAGs durante o processo de fabricação dos postes. Para isto, foram realizados testes para comprovar se os TAGs resistiriam ao processo de preservação dos postes em autoclave. Nove postes sem tratamento foram escolhidos e tiveram TAGs de identificação implantados de acordo com a metodologia de aplicação desenvolvida (ver item 3.3.2), a seguir foram submetidos ao tratamento em autoclave com o preservativo CCA. Este teste tem como objetivo :

- Testar a resistência do TAG ao tratamento em autoclave, sobre alta pressão;
- Testar a resistência ao próprio produto químico;
- Testar a metodologia de aplicação estendida ao processo produtivo;
- Testar a resistência mecânica do TAG exposto à pressão de expansão e contração da madeira no tratamento;

4. Resultados e Discussões

4.1. Ensaio Mecânicos

As propriedades mecânicas das principais espécies de eucalipto utilizadas na fabricação dos postes de madeira para a empresa AES Sul tiveram suas propriedades avaliadas pela primeira vez. As companhias de energia realizam um único tipo de ensaio para testar a qualidade de seus postes de madeira, o ensaio de flexão segundo a norma NBR6231 de 1980. Foram realizados ensaios de flexão seguindo a metodologia adotada na empresa, e complementar a este um ensaio de compressão paralela às fibras, realizado em laboratório. Para cada uma das espécies foi determinado a densidade aparente e o teor de umidade, medido em cada corpo de prova (CP) ensaiado.

4.1.1. Determinação da Densidade Aparente e Teor de Umidade

A tabela V mostra os valores médios de massa e densidade aparente para cada espécie, obtidos após 18 horas de secagem em forno (atingindo teor de umidade 12%), segundo a norma NBR7190, comparados com os valores de densidade padrão para cada espécie estudada, retirados do banco de dados do IPT e os valores médios presentes no anexo E da norma brasileira aos ensaios de madeira, NBR 7190.

Tabela V – Densidade aparente (Dap) obtida nos ensaios para as três espécies estudadas (Dap) e comparação com os valores relatados na norma NBR7190, (anexo E), e do banco de dados do IPT.

Corpos de Prova	Peso Médio (g)	Dap (12%) - experimental (kg/m ³)	Dap(15%) – IPT (kg/m ³)	Dap(12%) – NBR (kg/ m ³)*
<i>Eucalyptus citriodora</i>	32,16	1.071,9	1.040	999
<i>Eucalyptus saligna</i>	26,91	897,1	690	731
<i>Eucalyptus grandis</i>	14,37	479,2	500	640

Ensaio experimental com 4 corpos de prova para cada espécie, 18 horas de secagem em forno a 103°C, CPs com 20x30x50mm.

Com exceção da espécie *E.citriodora* que apresentou excelente caracterização, os resultados demonstraram uma considerável variabilidade, principalmente com a espécie *E.saligna*. Porém, esta variação é considerada razoável e pode ser atribuída a diversos fatores silviculturais (idade da árvore, tipo de solo, clima, etc) (IPT,1985).

O ensaio de determinação do teor de umidade teve como objetivo fazer uma comparação com o método da ABNT (NBR7190/97) e validar o aparelho eletrônico de medição de umidade (DL2000) utilizado nos ensaios mecânicos. A tabela VI traz os valores médios resultantes da determinação do teor de umidade por estes dois métodos para cada uma das espécies. A ultima coluna mostra a variação no resultado comparando as duas medidas.

Tabela VI – Teor de umidade médio para cada espécie, comparação do método experimental (NBR7190/97) com a leitura do aparelho eletrônico de medição de umidade DL2000.

Corpos de Prova	Teor de Umidade (%) (NBR7190/97)	Teor de Umidade(%) (DL2000)	Varição(%)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	18,19	15,38	-15,48
<i>Eucalyptus saligna</i>	29,80	24,95	-16,27
<i>Eucalyptus grandis</i>	19,21	20,28	5,55

Ensaio experimental com 4 corpos de prova para cada espécie, de dimensões 20x30x50mm. Secagem em forno a 103°C por 18 horas.

Nota-se uma variação significativa nos resultados medidos pelo aparelho DL2000. As medições foram feitas seguindo as recomendações do manual

(DIGISYSTEM, 2005), alterando a curva de calibração do aparelho para cada espécie em uso. O fabricante do aparelho recomenda sempre cautela ao fazer a aquisição da umidade por meio elétrico. Apesar do método ser comprovadamente eficaz, a variabilidade das espécies e defeitos na madeira podem alterar o valor da medição. Para maior precisão, recomenda-se realizar a média de várias tomadas de umidade, o que nem sempre é possível, visto que o aparelho necessita de um tempo para estabilizar a leitura que pode levar até 5 min.

Considerando a elevada umidade do ar na região de Porto Alegre (Média de 76,0% segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET), uma madeira nesta região atinge o teor de umidade de equilíbrio da madeira com uma umidade de 14,8% (calculado de acordo com a norma ASTM D 4933-91) acima do valor teórico, ocasionando uma redução de suas propriedades mecânicas (FERREIRA, 2003). Apesar disso, o alto teor de umidade observado em todas as amostras utilizadas nos ensaios mecânicos torna evidente que o período mínimo de secagem natural não foi respeitado. Porém, para efeito de comparação entre os resultados teóricos (Base de dados do IPT) e os experimentais nos ensaios mecânicos, as toras consideradas como sendo madeira verde (umidade acima de 30%).

4.1.2. Ensaio de Flexão

Seguindo a norma NBR 6231/1980 – “Postes de madeira – Resistência à Flexão”, foram realizados testes de flexão com dois postes de cada uma das espécies estudadas. Os ensaios foram realizados com o equipamento da própria

AES Florestal para reproduzir a metodologia de ensaios realizada pela mesma.. Os postes foram classificados de acordo com a densidade.

- *E. grandis* (baixa densidade) : CPB1 e CPB2
- *E. saligna* (média densidade) : CPM1 e CPM2
- *E. citriodora* (alta densidade) : CPA1 e CPA2

Os parâmetros e resultados do ensaio estão demonstrados na tabela VII.

Tabela VII – Ensaio de Flexão de postes segundo a NBR6231/1980. Parâmetros e resultados obtidos.

CP	X	P	Hu	C	c	δf	Ef
CPB1	200	1.000	820	77	61	556	78.320
CPB2	160	1.300	818	89	79	476	64.570
CPM1	160	1.800	770	89	80	620	78.230
CPM2	230	1.180	792	74	70	728	75.040
CPA1	267	1.650	811	72	58	1.132	124.190
CPA2	228	1.350	818	68	53	1.109	157.260

Corpos de Prova (CPs) :

CPB : *Eucalyptus grandis* (baixa densidade)

CPM : *Eucalyptus saligna* (média densidade)

CPA : *Eucalyptus citriodora* (alta densidade)

Parâmetros do ensaio:

X : Flexa em cm.

P : Carga de ruptura, em kg.

Hu : Comprimento útil do poste (altura total descontada da área de engastamento e aplicação da carga), em cm.

c : Circunferência do poste na região de engastamento, em cm.

C : Circunferência do poste na região de aplicação da carga, em cm.

Resultados :

δf : Limite de resistência à flexão, em kgf/cm².

Ef : Módulo de elasticidade à flexão, em kgf/cm².

Pode-se observar uma considerável variabilidade entre postes da mesma espécie, pois sabe-se que uma amostragem de dois postes por espécie é insuficiente para testar a resistência do lote.

A média dos resultados de cada espécie, comparando com o banco de dados do IPT (valores para madeira verde), é apresentado na tabela VIII.

Tabela VIII – Resultados dos testes experimentais de flexão comparados com os valores do banco de dados do IPT para madeira verde.

Corpos de Prova	δf (Experimental)	Ef (Experimental)	δf (IPT)	Ef (IPT)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	1.120	140.730	1.140	136.000
<i>Eucalyptus saligna</i>	674	76.640	789	121.100
<i>Eucalyptus grandis</i>	516	71.450	549	98.800

δf : Limite de resistência à flexão, em kgf/cm².

Ef : Módulo de elasticidade à flexão, em kgf/cm².

A espécie *E.citriodora* apresentou resultados muito próximos aos valores teóricos (IPT), porém, as espécies de menor densidade apresentaram uma variação considerável (47%) para o módulo de elasticidade do *E.saligna*, apresentando um desempenho mecânico abaixo ao valor teórico (IPT).

Analisando a metodologia do ensaio, foi possível observar algumas inconformidades, de acordo com a norma de flexão (NBR6231/1980):

- O Berço onde o poste foi engastado, não possuía a concavidade nem o formato necessário para a acomodação do poste, na verdade o berço era composto por duas vigas de metal planas; as cargas de flexão estavam assim concentradas na área de contato da superfície plana com o poste, como mostra a figura 28. Ao contrário da norma que exige uma concavidade igual ou maior que a convexidade do poste.



Figura 28 – Berço de engastamento: formato que contraria o recomendado pela norma de ensaios de flexão para postes.

- A velocidade de aplicação da carga não foi constante, por isso não seguiu os padrões da norma (equação 3). A carga foi aplicada manualmente, sem nenhum controle de velocidade e ainda sofrendo pequenas pausas de acordo com o “fôlego” do operador da manivela (figura 29).



Figura 29 – Aplicação de carga manual, ignorando as recomendações de aplicação de carga constante da norma de ensaio de flexão para postes.

Comparando-se qualitativamente os resultados da tabela VIII, observa-se que a espécie *E.citriodora* apresentou uma resistência consideravelmente maior comparada com as outras (figura 30), como esperado e relatado no banco de dados no IPT.



Figura 30 – Deformação do poste de *Eucalyptus citriodora* quando aplicada carga durante o ensaio de flexão.

Nota-se a superioridade mecânica da *E.citriodora*, não apenas pelo resultado do ensaio, mas também observando o tipo de fratura durante o ensaio de flexão. O *E.grandis* apresentou uma fratura “lisa” (fratura frágil), o *E.saligna* uma fratura “fibrosa” (fratura dútil) ao longo de seu comprimento enquanto o *E.citriodora* uma fratura “fibrosa” (mais dútil ainda) na região de engastamento (figura 31).

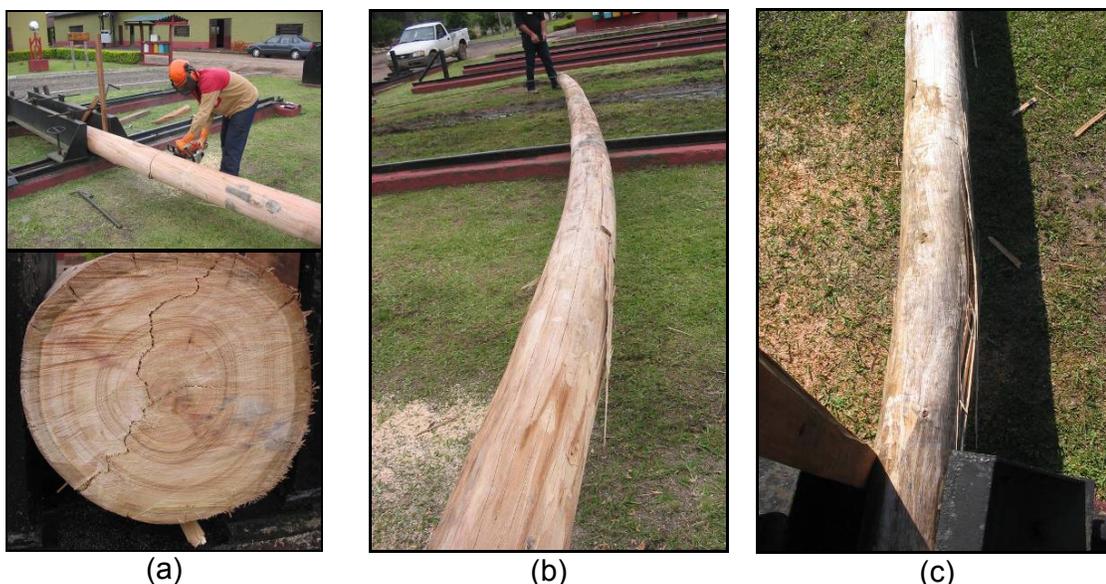


Figura 31 – Diferentes tipos de fratura nos postes: (a) *E.grandis* – fratura lisa, (b) *E.saligna* – fratura fibrosa ao longo do poste e (c) *E.citriodora* – fratura fibrosa na base.

Para atingir resultados confiáveis, é preciso utilizar amostragens mais representativas. A norma NBR7190 recomenda mínimo de seis CPs para uma caracterização simplificada, e doze CPs para a caracterização mínima da resistência

de espécies não determinadas. Porém, esta pode não ser uma opção viável, visto que o ensaio de flexão é um ensaio destrutivo e uma amostragem mais significativa representa um custo elevado na produção. A justificativa da empresa é de que estes são apenas ensaios de controle que não tem como objetivo caracterizar a madeira.

4.1.3. Ensaio de Compressão Paralela às Fibras

A figura 32 mostra um gráfico tensão x tempo comparativo entre as três espécies, ressaltando os diferentes valores de tensão máxima de compressão paralela às fibras. Neste gráfico, CP1 representa a espécie de maior densidade (*Eucalyptus citriodora*), CP2 e CP3 são referentes à espécie de média (*Eucalyptus saligna*) e baixa (*Eucalyptus grandis*) densidade respectivamente.

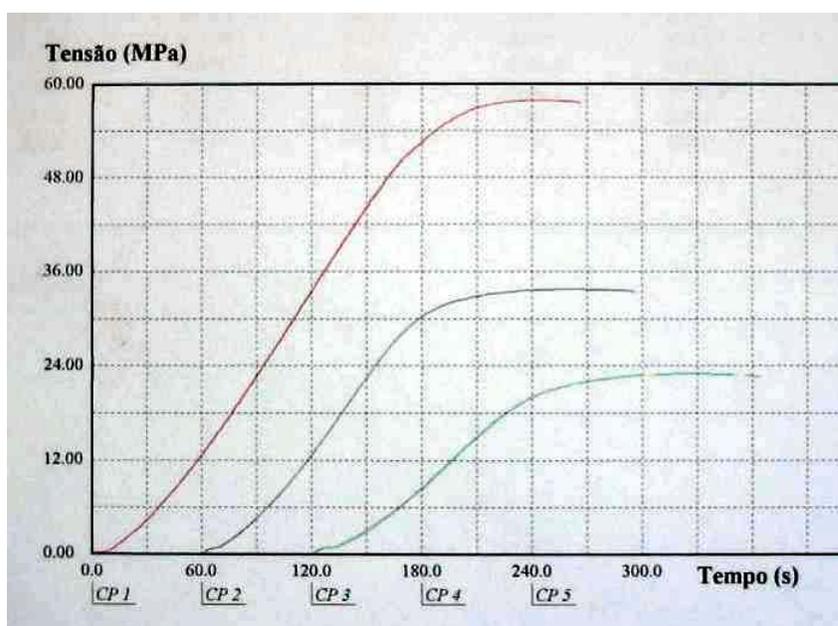


Figura 32 – Gráfico da tensão máxima de compressão para as três espécies de Eucalipto: CP1 – *E.citriodora*, CP2 – *E.saligna*, CP3 – *E.grandis*.

Observa-se a diferença entre as espécies, sendo que a *E.citriodora* foi a que mais resistiu, com 58MPa de tensão, contra 34MPa de CP2 e 23MPa de CP3.

A seguir foram traçadas as curvas Tensão x Deformação para os nove CPs de cada espécie e destas foram obtidos os valores de resistência máxima à compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade de cada material.

A figura 33 mostra as curvas tensão x deformação para os nove CPs da madeira de baixa densidade – *Eucalyptus grandis*, os valores de resistência obtidos no teste estão na Tabela IX.

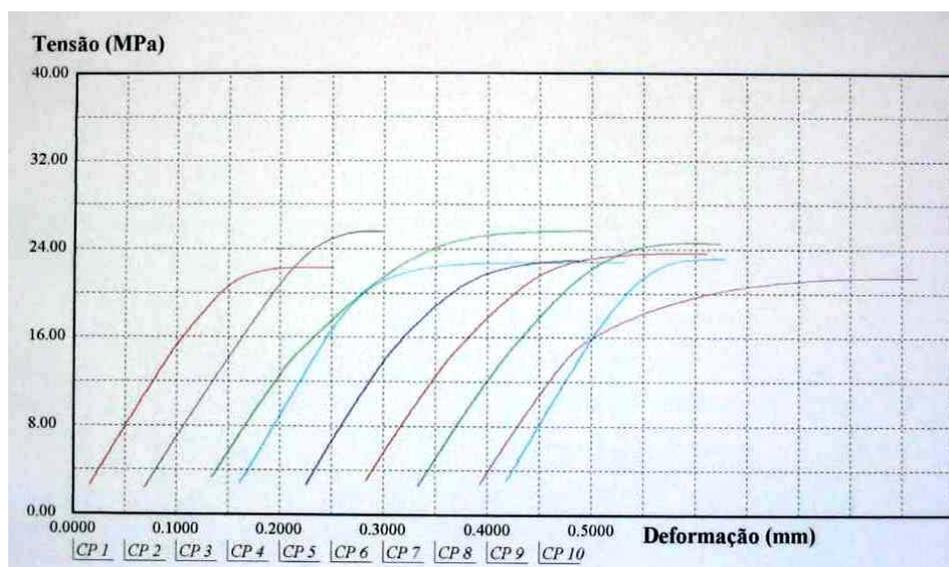


Figura 33 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de *E.grandis* submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Tabela IX – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie *Eucalyptus grandis*.

	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Média	6.028	23,65	11.440
Desvio Padrão	365,3	1,43	494,4
Coef. Var. (%)	6,06	6,06	4,32
Mínimo	5.487	21,52	10.945
Máximo	6.554	25,71	12.110

A figura 34 mostra as curvas para a madeira de média densidade – *Eucalyptus saligna*, os valores de resistência obtidos no teste estão na Tabela X.



Figura 34 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de *E. saligna* submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Tabela X – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie *Eucalyptus saligna*.

	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Média	8.830	34,64	15.485
Desvio Padrão	755,9	2,96	1.721
Coef. Var. (%)	8,56	8,56	11,11
Mínimo	7.512	29,47	11.945
Máximo	9.689	38,01	17.775

A figura 35 mostra as curvas para a madeira de média densidade – *Eucalyptus saligna*, os valores de resistência obtidos no teste estão na Tabela XI.

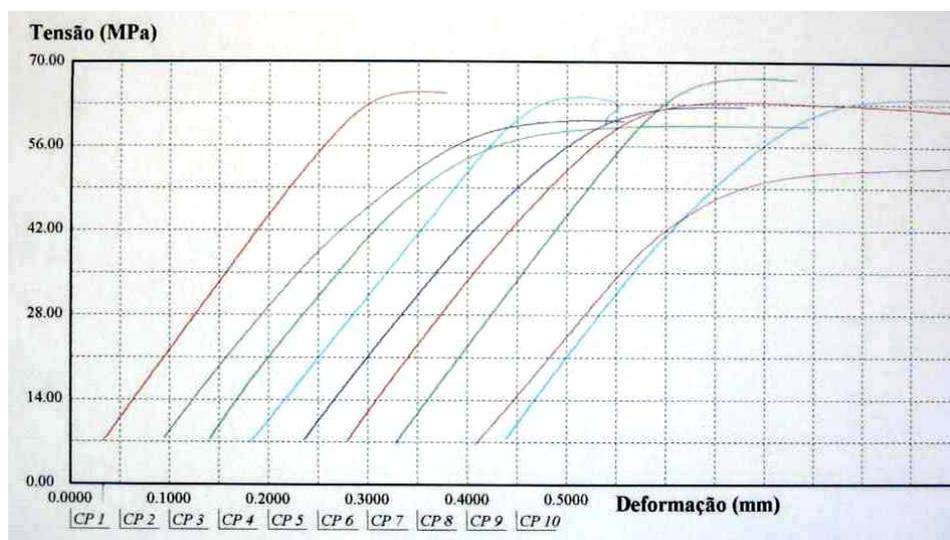


Figura 35 – Gráfico da Tensão x Deformação para corpos de prova de *E.citriodora* submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Tabela XI – Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras em corpos de prova da espécie *Eucalyptus citriodora*.

	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Média	15.840	62,14	16.285
Desvio Padrão	1.099	4,31	893
Coef. Var. (%)	6,93	6,93	5,483
Mínimo	13.400	52,57	14.680
Máximo	17.200	67,48	17.715

Comparando os valores médios de resistência à compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade com os valores de referência do Banco de Dados do IPT para madeira verde (IPT/DPF, obtidos de acordo com a norma ABNT NBR – 6230/85) obteve-se a tabela XII.

Tabela XII – Resultados do teste experimental de compressão paralela às fibras comparados com os valores do banco de dados do IPT para madeira verde.

Corpos de Prova	f_{c0} (Δ) (Experimental)	E_{c0} (Δ) (Experimental)	f_{c0} (IPT)	E_{c0} (IPT)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	62,14 (18%)	16.285 (3%)	51,1	15.867
<i>Eucalyptus saligna</i>	34,64 (7%)	15.485 (14%)	32,1	13.288
<i>Eucalyptus grandis</i>	23,65 (-11%)	11.440 (-1%)	26,3	11.572

f_{c0} : Limite de resistência à flexão, em MPa

E_{c0} : Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, em MPa.

Δ : Variação do resultado experimental em %, em relação ao teórico (IPT).

Os valores de resistência máxima à compressão foram bastante coerentes, sempre considerando a variabilidade natural da madeira. A NBR 7190/97 considera aceitável uma variação de resistência à solicitações normais de até 18%, colocando assim, os resultados dentro da margem de tolerância.

Quanto à recomendação da norma de exigir uma pré-carga antes do ensaio, foi testada e realmente, sem as pré-cargas, a curva Tensão x Deformação sofre um efeito de “barriga” na porção inicial do gráfico, provavelmente devido à acomodação das paredes celulares da madeira. Mas com apenas uma pré-carga, este efeito é praticamente eliminado.

Destaque para *E.citriodora*, com resistência máxima à compressão paralela as fibras de praticamente o dobro do resultado da segunda colocada, isto pode indicar o seu uso nos pontos da linha de transmissão onde propriedades mecânicas superiores são exigidas, como no caso do suporte de um transformador no poste.

As propriedades mecânicas da espécie *E.citriodora* são significativamente superiores às outras estudadas, com resistência máxima à compressão paralela as fibras de praticamente o dobro do resultado da segunda colocada. Esta propriedade poderia apontar o seu uso para os pontos da linha de transmissão onde propriedades mecânicas superiores são exigidas, como no caso do suporte de um

transformador no poste. Seu uso irrestrito na fabricação de postes seria altamente recomendado, não fosse pelo seu crescimento mais lento e produtividade reduzida. Devido à demanda atual, as espécies de crescimento mais rápido não podem ser descartadas, apesar de suas propriedades mecânicas inferiores e maior propensão ao ataque de fungos e agentes degradadores.

4.1.4. Metodologia alternativa para o controle de qualidade dos postes

Devido a variabilidade do eucalipto e ao aparecimento de clones e híbridos da espécie, uma caracterização da densidade revela-se importante. Além desta, ensaios para determinar a retenção do preservativo é importante para garantir a qualidade do poste.

Atualmente as companhias de energia utilizam apenas o ensaio de flexão para testar a qualidade de seus postes. A AES Sul normalmente ensaia uma amostragem de dois postes por lote adquirido (lote de 50 postes). Analisando os resultados do ensaio de flexão realizado neste estudo, é possível afirmar que, com uma amostragem tão pequena, não é suficiente para qualificar um lote de postes.

A partir da análise dos resultados do ensaio de compressão realizado, nota-se que este apresenta uma variabilidade significativamente menor. Por ser um ensaio realizado em laboratório, com equipamentos de sensibilidade, este oferece melhores condições para determinar as propriedades mecânicas da madeira. Além disso, o ensaio de compressão é um ensaio não-destrutivo, visto que pode ser realizado cortando apenas um disco da parte inferior do poste.

É possível sugerir então uma metodologia alternativa para o controle de qualidade dos postes baseada no ensaio de compressão paralela às fibras descrita a seguir:

- É realizada uma inspeção visual no poste, avaliando os defeitos presentes, analisando curvaturas, sinuosidades, fendas, rachaduras, nós e orifícios que prejudiquem as propriedades mecânicas do poste. Pode ser utilizado o procedimento visual sugerido pela norma NBR8456/1984.
- Um disco de 20 a 35cm é retirado da base do poste (dependendo da quantidade de amostras optada);
- A amostragem de postes ensaiados pode ser aumentada, estendendo a qualquer quantidade de postes desejada, visto que este não é um teste destrutivo;
- Do disco são confeccionadas amostras para o ensaio de compressão, sendo que, deste mesmo disco ainda pode ser extraído material para CPs de determinação de densidade aparente e retenção do preservativo;
- É possível então avaliar, além da resistência mecânica, propriedades físicas e qualidade do tratamento aplicado.

Esta metodologia possui vantagens significativas sobre a metodologia tradicional, recomendada pela norma NBR8456. Utiliza um ensaio mecânico de equipamentos mais precisos e não destrutivo. Considerando a atual situação da AES Sul, que ao devolver a AES Florestal para a CEEE, ficou sem equipamentos e área para testes mecânicos; os ensaios em laboratório podem ser uma favorável alternativa.

4.2. Trabalho de Inspeções

A partir do programa de inspeções, realizado na área de concessão da AES Sul no estado do RS, um total de 10.189 postes foram inspecionados. Destes, cerca de 9% do total representam postes de concreto, o restante são postes de madeira que constituem o foco deste trabalho e são analisados em maior profundidade. O trabalho de inspeções priorizou circuitos de baixa tensão com predominância de postes de madeira. Mesmo assim, é comum a ocorrência de postes de concreto nestes circuitos, principalmente em pontos críticos, como no caso do suporte de transformadores.

Em todos os 25 municípios foram inspecionados postes no perímetro urbano, sendo que em alguns as inspeções foram realizadas também em postes das áreas rurais de acordo com a sua representatividade na rede de cada município (Tabela 2). Sendo que o total de áreas rural representou cerca de 13% dos postes inspecionados, concentrados principalmente na região de fronteira.

A tabela 2 traz a distribuição resultante do trabalho de inspeção, com o total de postes inspecionados em cada município, e destaque ao volume de postes de madeira. Os municípios estão agrupados de acordo com as cinco regiões administrativas da empresa.

Tabela XIII – Relação de municípios e quantidade total de postes inspecionados (Concreto e Madeira), nas cinco regiões administrativas da AES Sul.

Região	Município	Rural	Urbano	Postes de Madeira	Total geral (Madeira e Concreto)
Centro	Santa Maria	101	435	490	536
	Sobradinho	140	300	419	440
Centro Total		241	735	909	976
Fronteira Norte	Santiago	148	303	420	451
	São Borja	201	207	407	408
Fronteira Norte Total		349	510	827	859
Fronteira Sul	Rosário do Sul	150	346	488	496
	Uruguaiana	225	331	505	556
	Santana do Livramento	195	336	508	531
Fronteira Sul Total		570	1.013	1501	1583
Metropolitana	Canoas		482	442	482
	Dois Irmãos	133	460	532	593
	Esteio		512	451	512
	Harmonia		210	194	210
	Ivoti		497	458	497
	Montenegro		440	372	440
	Novo Hamburgo		461	358	461
	Portão		510	468	510
	São Leopoldo		706	683	706
	São Sebastião do Caí		345	257	345
Estância Velha		470	439	470	
Metropolitana Total		133	5.093	4654	5226
Vales	General Câmara		210	198	210
	Lajeado		300	279	300
	Rio Pardo		210	191	210
	Santa Cruz		525	398	525
	Taquari		300	289	300
Vales Total			1.545	1355	1.545
Total geral		1.293	8.896	9246	10.189

4.2.1. Placas de Identificação

Em todos os municípios inspecionados, foi observado que um percentual significativo (57%) dos postes em serviço encontram-se sem a placa de identificação. Cabe salientar que a placa de identificação é essencial para a obtenção de informações tais como altura do poste, preservativo utilizado, fabricante e data da preservação.

Analisando os municípios individualmente, nota-se uma grande variabilidade no número de postes identificados. Podemos observar na figura 36 que município que apresentou o maior percentual de postes com placa (65%) foi Estância Velha, e mesmo assim este percentual é considerado baixo. No lado extremo está o município de Rio Pardo, com menos de 19% de postes identificados.

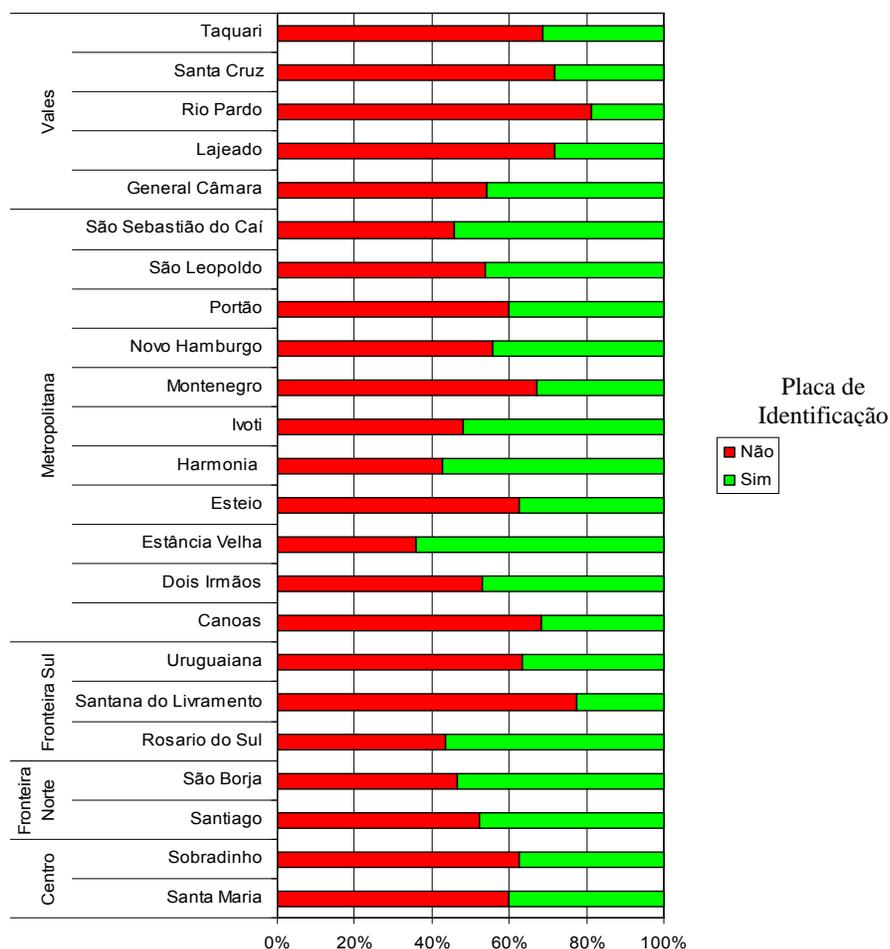


Figura 36 – Incidência da placa de identificação nos postes de madeira

Considerando a localização dos postes nas zonas rural e urbana, verificou-se que o problema da ausência de placas de identificação representa 54% e 59%, respectivamente, dos postes inspecionados. Esta pequena diferença pode ser atribuída à uma maior depredação das placas na Zona Urbana, mas sem dúvida não é a única causa do problema.

4.2.2. Tipos de Preservativos

A figura 37 mostra a divisão de todos os postes inspecionados em função do tipo de preservativo utilizado. Este dado consta na placa de identificação do poste, porém, para os postes sem identificação (57% do total), o tipo de preservativo utilizado na sua fabricação foi inferido pela inspeção visual (CCA coloração verde; Creosoto coloração escura). Em função da grande variabilidade entre municípios, os dados foram também agrupados por região (figura 37).

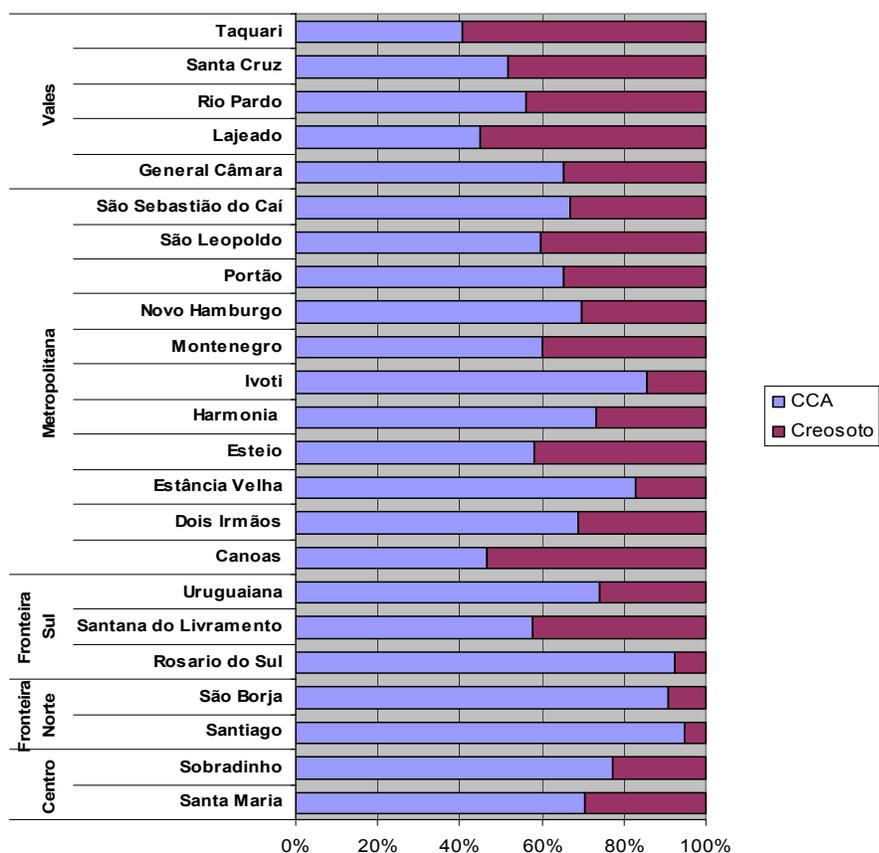


Figura 37 – Principais tipos de preservativos (CCA e Creosoto) utilizados no tratamento dos postes e sua distribuição em cada município.

Na região da fronteira norte nota-se uma maior ocorrência de postes preservados com CCA, sendo que o município de Santiago destaca-se com 95%. Por outro lado, a região dos vales apresenta o maior percentual de postes tratados com creosoto (49%), com o município de Taquari apresentando a maior incidência (59%). Já região Metropolitana, Ivoti (14%) foi o município com a menor incidência de postes preservados com Creosoto, e em Canoas, nos 482 postes inspecionados, nota-se uma proporção similar entre ambos os tratamentos (figura 38).

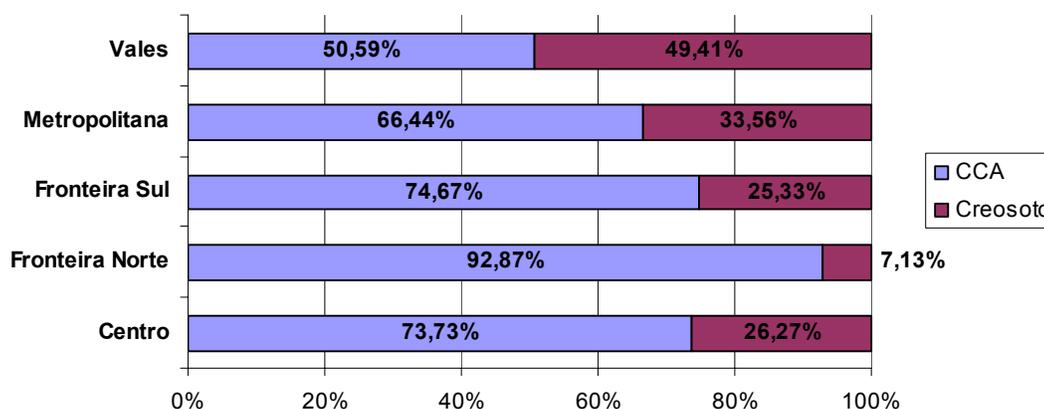


Figura 38 – Preservativos (CCA e Creosoto) utilizados no tratamento dos postes e sua distribuição por região.

Nota-se uma diferença significativa na proporção de preservativos encontrados em cada região. Nas regiões de fronteira os postes com Creosoto são encontrados em quantidades reduzidas, isto pode ser atribuído à sistemática de substituição de postes, considerando ser uma região extensa e predominantemente rural.

Os postes tratados com creosoto possuem idades superiores a 10 anos, pois desde 1995 este preservativo não é mais utilizado no tratamento de postes no Brasil (referência: comunicação pessoal, CEEE). Por sua vez, a dedução da idade dos postes com CCA é limitada devido a falta de informação referente ao início de sua

utilização pelos diferentes fabricantes de postes. Entretanto, sabe-se que houve um período em que os dois preservativos foram utilizados concomitantemente.

4.2.3. Idade dos postes em serviço

A determinação correta da idade dos postes em serviço, só pode ser feita utilizando as informações contidas na placa de identificação, ou seja, um universo de 3864 postes que corresponde a 43% dos postes inspecionados. A figura 39 mostra o perfil de idade dos postes de madeira em cada município para os postes identificados.

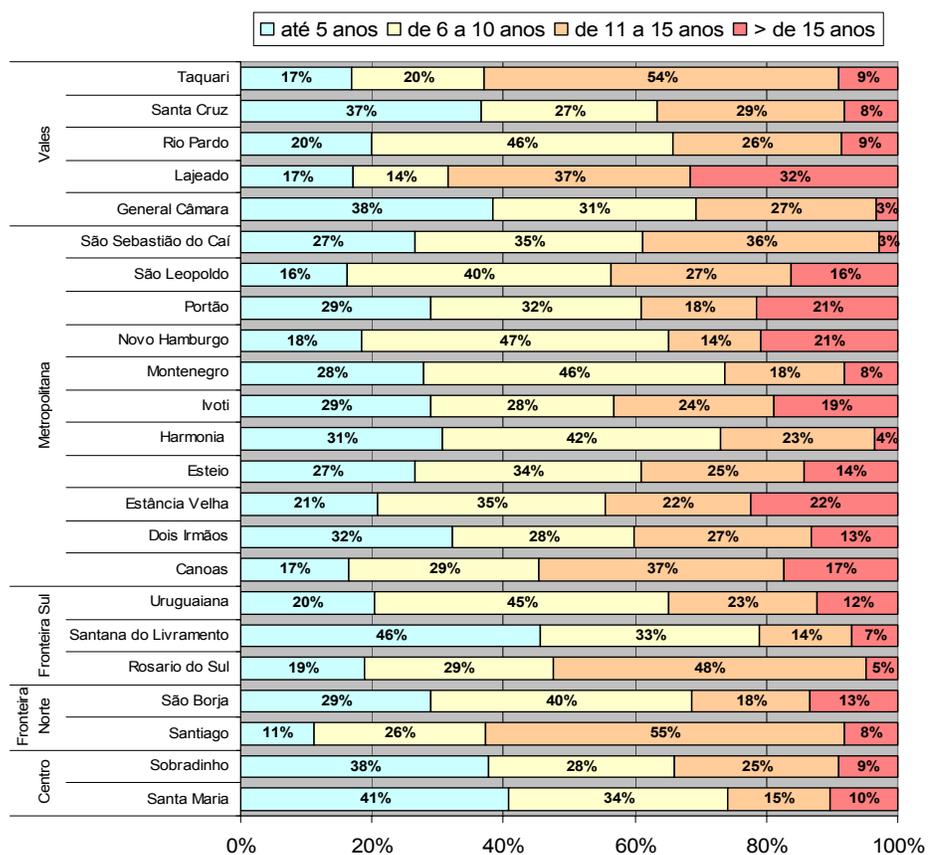


Figura 39 – Perfil da idade (ano de fabricação) dos postes em serviço. Dados referentes somente aos postes com placa de identificação.

A partir das informações da figura 5, é possível constatar uma grande variação no perfil de tempo de serviço dos postes nos diferentes municípios inspecionados, Santana do Livramento foi o que apresentou o maior número de postes com idade até 5 anos (41%) e Lageado com o maior número de postes com idade superior a 15 anos (32%).

4.2.4. Classificação dos postes

Neste item, serão apresentados os resultados referentes à classificação dos postes em função do seu estado de conservação segundo a metodologia apresentada no item 3.3.1 (Tabela II). Neste método, os postes sadios são considerados classe 1 (cor verde), enquanto os postes que devem ser substituídos são considerados classe 4 (cor vermelha). Entre estas classes extremas, encontram-se os postes que apresentam ou apodrecimento inicial (classe 2, cor amarela), ou avançado (classe 3, cor laranja).

Do total de postes de madeira inspecionados (9.246 postes), 48% foram classificados como sendo classe 1, 24% classe 2, 15% classe 3 e 13% classe 4. Dentre estes, os postes que merecem maior atenção são os Classe 4 os quais devem ser retirados de serviço por não atenderem as condições mínimas de segurança devendo serem substituídos.

A figura 40 mostra a classificação dos postes inspecionados, destacando as diferenças percentuais em cada um dos municípios estudados.

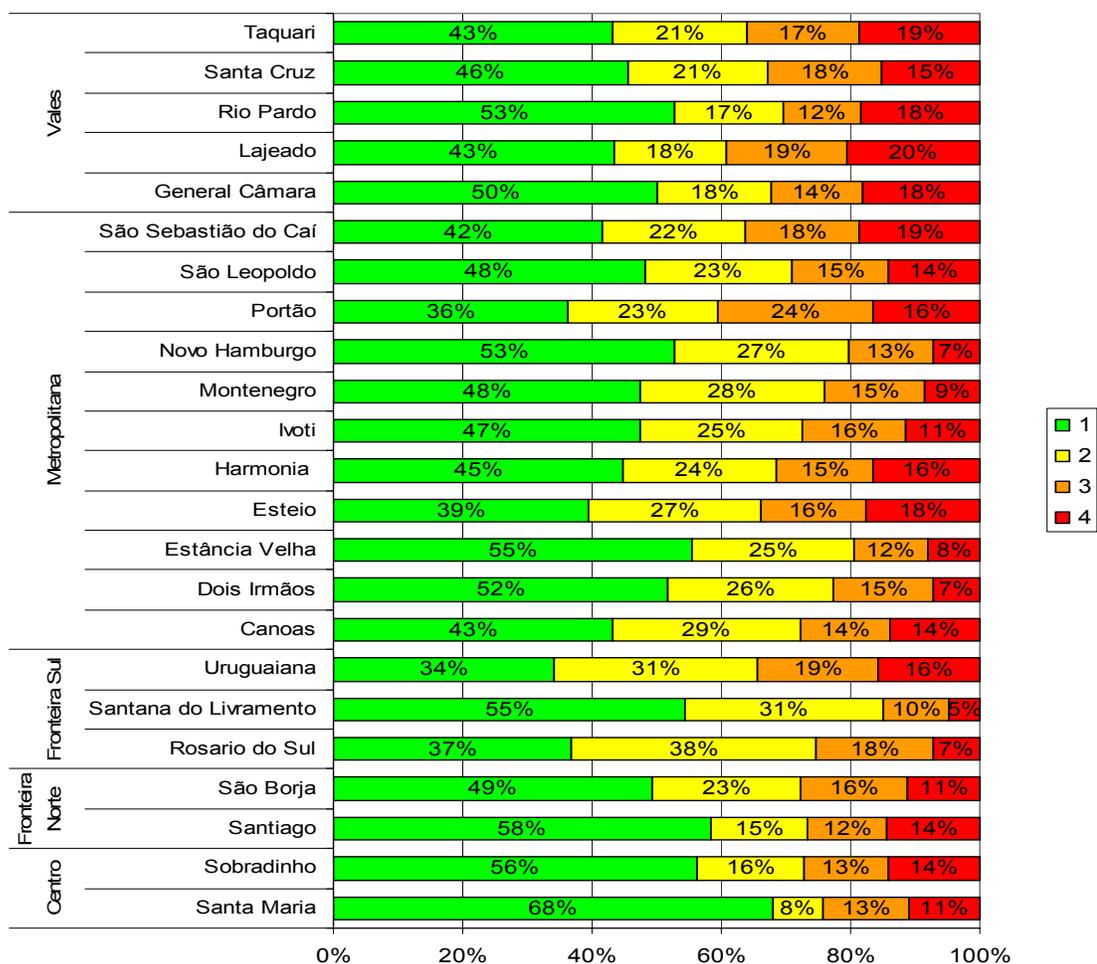


Figura 40 – Estado de conservação dos postes por município. Classificados por classes mostrados em porcentagem do total de postes inspecionados em cada município.

O município com menor incidência de Classe 4 foram Santana do Livramento (5%) e Rosário do Sul (7%), ambos na região de Fronteira Sul. Este dado é positivo, pois esta é considerada uma região crítica, caracterizada pela extensa área rural, com incidência de ventos fortes e longas linhas de transmissão. Uma falha (queda de um poste) pode gerar quilômetros de interrupção no serviço.

Por outro lado, a região metropolitana é caracterizada por uma grande variação no estado dos postes entre os municípios. Verificam-se municípios como Novo Hamburgo e Dois Irmãos, com baixa ocorrência de postes classe 4 (7%)

enquanto São Sebastião do Caí e Esteio apresentam 19 e 18%, respectivamente, de postes inspecionados nesta classe. Este dado é preocupante, uma vez que estas localidades estão mais propensas a ocorrência de interrupções de fornecimento de energia. Isto gera transtornos que são especialmente significativos devido a alta densidade demográfica e intensa atividade industrial desta região.

Na região Central verifica-se que, apesar dos percentuais elevados de postes classe 4 (11 – 14%), constatam-se os maiores percentuais de postes classe 1 (56 – 68%) dentre todos os municípios avaliados.

A região dos Vales apresenta elevados percentuais de postes classe 4, incluindo o município de Lageado, que apresenta a mais alta taxa de postes indicados para substituição (20%). Além deste fato, cabe ressaltar a menor proporção de postes classe 1 comparada as demais regiões.

4.2.5. Durabilidade dos postes

Com relação a durabilidade dos postes em serviço, a norma Brasileira NBR8456/84 prevê um período mínimo de 15 anos para um poste de madeira (ABNT, 1984). A análise deste dado se complica pelo fato de apenas 57% dos postes de madeira possuírem a placa de identificação com a data de fabricação do poste.

Dentre os postes identificados, apenas 500 eram postes com mais de 15 anos (tempo mínimo que deveria durar um poste) de serviço representando uma porcentagem de apenas 5% (dos 3948 postes). Cabe destacar que 54% destes postes com mais de 15 anos ainda estão em condições de serviço (classes 1 e 2).

Dos postes com menos de 15 anos de serviço, 86% estão em boas condições de operação (classes 1 e 2), o restante cerca de 9% estão em estado avançado de degradação (classe 3) e 5% são postes a serem substituídos (classe 4).

Considerando apenas os postes classe 4 com menos de 15 anos, apesar do pequeno número de postes (159), algumas discussões podem ser feitas. A maioria destes postes estão concentrados na região metropolitana, nos municípios de São Leopoldo (20), São Sebastião do Caí (14) e Canoas (13). O dado mais grave é a presença de postes com menos de 5 anos (3) e de 10 anos (42) neste universo, e todos tratados com preservativo CCA.

A relação entre o tempo em serviço, com o tipo de preservativo utilizado e o estado de conservação (classificação) dos postes identificados é mostrada na figura 41.

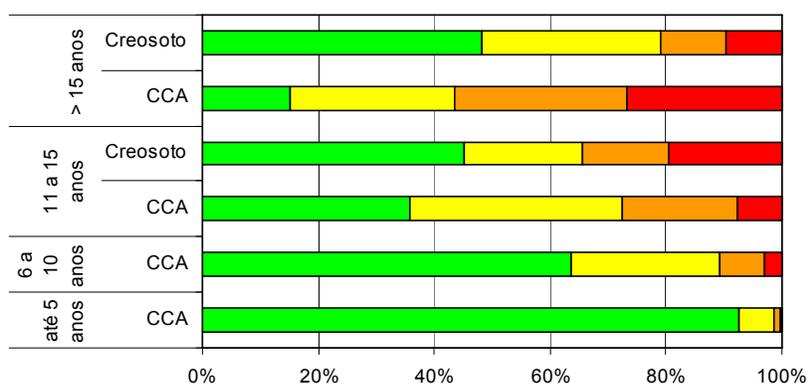


Figura 41 – Relação: tipo de preservativo por tempo de serviço e classificação dos postes.

Comparando-se o estado de conservação dos postes com mais de 15 anos de serviço, o preservativo Creosoto demonstra uma maior porcentagem de postes nas classes 1 e 2, além de um menor número de postes classe 4, apresentando um percentual significativo se comparado aos postes de mesma idade, porém

preservados com CCA. Este maior poder de preservação pode ser associado à sua elevada toxicidade, o que lhe confere uma boa ação preservativa. Porém, devido a sua alta toxicidade, o Creosoto não é mais utilizado na preservação dos postes.

4.3. Tecnologia RFID

A partir dos testes de leitura em bancada, aumentando as distâncias e variando o ângulo da antena em relação ao TAG instalado no poste, foi possível mapear uma região onde a leitura é possível. Esta área caracterizada, foi equivalente a $\frac{1}{4}$ de uma circunferência de raio 70mm conforme mostra a figura 42.

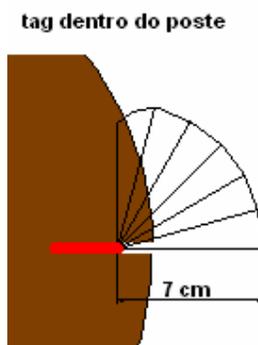


Figura 42 – Área de leitura dos TAGs instalados no interior dos postes, determinada através de testes de bancada.

Considerando o efeito simétrico do campo magnético, a área mapeada foi estendida e transformada em um espaço tridimensional que representa o volume onde as leituras do TAG foram possíveis, de acordo com a figura 43. Volume este equivalente a uma semi-esfera de diâmetro 140mm.

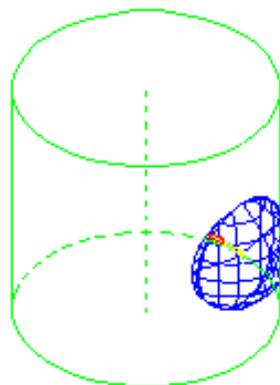


Figura 43 – Volume de leitura de leitura dos TAGs instalados no interior dos postes, determinada através de testes de bancada.

Nos testes de campo, este volume teórico foi comprovado utilizando o aparelho portátil de inspeções, figura 36.

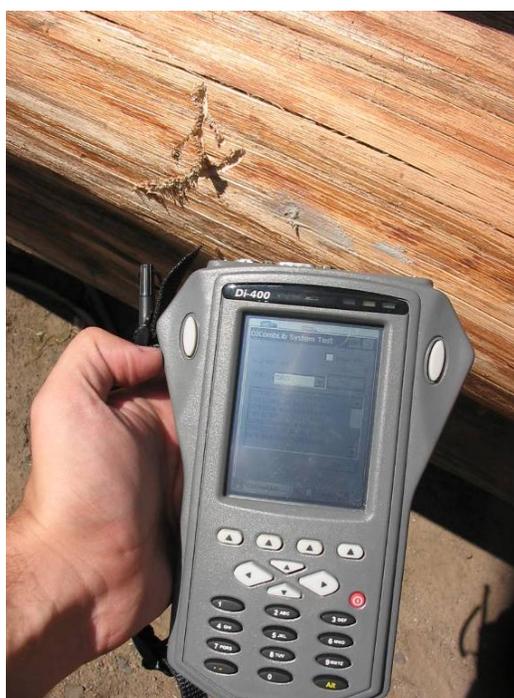


Figura 44 – Aparelho portátil de inspeções realizando a leitura de uma etiqueta eletrônica (TAG, RFID), implantado no poste de madeira.

Uma região de leitura que requer a proximidade de 7cm do TAG pode ser considerada, a princípio, pequena. Mas ao decorrer dos testes, esta provou ser

suficiente visto que, para realizar a inspeção, o responsável deve sempre estar próximo ao poste.

Lembrando que a distância de leitura pode ser aumentada, aumentando a potência fornecida à antena do leitor (em até 45cm segundo fabricante: TEXAS,2005). Mas, aumentar a potência significa um maior consumo de energia pelo aparelho portátil, que representa por sua vez uma menor autonomia. Nada que seja considerado como intangível, mas requer investimento em uma plataforma própria que atenda as necessidades almejadas.

A figura 45 ilustra os testes de campo com a tecnologia RFID, a aplicação é simples e o acabamento torna o *TAG* praticamente invisível.



Figura 45 – Protocolo de aplicação dos *TAGs* nos postes de madeira.

O teste de possibilidade de aplicação dos *TAGs* em postes de concreto mostrou-se viável, a área de leitura foi preservada, mesmo com a presença da

estrutura metálica de armação do poste de concreto. A metodologia permanece a mesma, apenas a broca deve ser especificada para concreto (fig 46).



Figura 46 – Aplicação dos TAGs em postes de concreto.

4.3.1. Testes da aplicação da tecnologia no processo de fabricação dos postes.

Seis postes e quatro mourões foram escolhidos em um lote de tratamento, nestes foram instalados os TAGs de identificação eletrônica como mostra a figura 47, um TAG por poste e dois TAGs por mourão. Os postes foram então submetidos ao processo de preservação da madeira com CCA. Uma vez dentro da autoclave, são induzidos processos de pressão e vácuo por aproximadamente 3 horas, com o objetivo de impregnar o preservativo no alburno da madeira. Os TAGs foram instalados seguindo a metodologia desenvolvida, aplicados à 1 metro da linha de engastamento do poste, em seguida foi realizada uma leitura de identificação para cada poste.



Figura 47 – Teste de resistência dos TAGs ao tratamento sob pressão de postes em autoclave.

Após o teste os postes foram deixados ao ar livre para secagem, o aspecto visual da instalação se mostrou bastante discreto após o processo de preservação, praticamente invisível. Os tampões de fixação com resina epóxi resistiram à variação de pressão, permanecendo todos intactos após o tratamento. Foram realizadas novamente as leituras eletrônicas, todos os quatorze TAGs aplicados estavam funcionais, com a mesma distância de leitura.

Os postes foram encaminhados para serem instalados na rede elétrica, e serão acompanhados futuramente. Os quatro mourões foram abertos com o auxílio de ferramentas, para a recuperação dos TAGs instalados. Após abertos, foi possível examinar a integridade física dos TAGs, o encapsulamento de vidro resistiu ao processo de preservação. Todos estavam em perfeitas condições de funcionamento, sem trincas ou vestígios de agressão química. Apenas um TAG dos oito implantados

teve seu encapsulamento de vidro quebrado, mas este se deu durante o processo de abertura do mourão com as ferramentas.

Assim, foi demonstrado que os TAGs de identificação resistiriam à um procedimento de identificação aplicado anteriormente ao processo de preservação do poste. Já o procedimento de recuperação dos TAGs demonstrou ser complicado, a aplicação da vedação com resina epóxi mostrou-se bastante resistente, fazendo com que a eventual recuperação dos TAGs seja um procedimento trabalhoso além da ocorrência de perdas (quebras) de TAGs.

5. Conclusões

Propriedades Mecânicas :

- O aparelho eletrônico de medição de umidade pode ser utilizado nas inspeções de campo, apesar de suas limitações;
- A espécie *Eucalyptus citriodora*, apresentou as melhores propriedades mecânicas entre as espécies ensaiadas;
- Ensaio de compressão paralela às fibras pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na caracterização das propriedades de postes de madeira;
- Uma metodologia mais completa para caracterização e aceitação de postes se faz necessária;

Inspeção dos postes em serviço

- Metodologia de inspeção e classificação de postes em serviço mostrou-se eficaz;
- As placas de Identificação utilizadas atualmente apresentam um elevado índice de perdas;
- 75% do total de postes de madeira encontram-se em boas condições;
- O tratamento com creosoto sugere ser mais eficiente;
- Postes de madeira preservados com CCA apresentaram uma durabilidade inferior a 5 anos, sugerindo possíveis problemas no processo de fabricação na aplicação do preservativo CCA;

Identificação por Rádio-Frequência (RFId):

- Tecnologia inovadora considerando sua aplicação em postes;
- Solução permanente, de fácil aplicação;
- Seu uso pode ser estendido :
 - Ao processo de fabricação do poste;
 - Ao uso em postes de concreto;
- Possibilita a rastreabilidade total;
- Permite a automação e integração total com banco de dados;
- Facilita a análise dos dados de inspeções e a tomada de decisões por parte da empresa;

6. Recomendações

A partir das discussões deste estudo, é possível fazer algumas recomendações para a próxima fase do projeto :

- Um aumento significativo da amostragem de postes seguindo as orientações da norma NBR7190 para uma caracterização completa, permitiria uma melhor comparação entre as metodologias estudadas e a comprovação estatística da eficácia do método alternativo de controle de qualidade sugerido.
- O desenvolvimento de um software de inspeções para o computador PDA que integrasse o sistema de banco dados da empresa (BDI), a identificação por rádio frequência e o georeferenciamento dos postes seria o próximo passo evolutivo para o método de inspeções.

7. Referências Bibliográficas:

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6231: Postes de Madeira – Resistência à Flexão**. Rio de Janeiro: ABNT, dezembro de 1980.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8456: Postes de Eucalipto Preservado para Redes de Distribuição**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
4. ACCENTURE. **Radio Frequency Identification (RFID)**. White Paper, 16 de Novembro de 2001. 32 p. Disponível em: <<http://www.accenture.com/xdoc/en/services/technology/vision/RFIDwhitepaper/nov01.pdf>>. Acesso em: Março de 2005.
5. AES Sul – Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. **Dados e imagens da AES no Brasil**, São Leopoldo, 2002. Disponível em: <<http://www.aessul.com.br>>. Acesso em: Março de 2005.
6. ALVES, M.V.S., et al. **Avaliação da eficiência de preservativos em Madeira após dois anos de implantação em campos de apodrecimento de diferentes regiões**. São Paulo, Boletim ABPM no. 27, 1985, 16p.

7. ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES.
RESOLUÇÃO No. 365 – Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita. Resolução No. 365 de 10 de maio de 2004, ANATEL, Brasília. Disponível em : <<http://www.anatel.org.br>>, acesso em Fevereiro 2006.
8. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles. Designation D 1036 – 90, EUA, ASTM, 1990.
9. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. Designation D 143 – 94, EUA, ASTM, 1994.
10. BALLARIN, A. W. & RIBEIRO, A. B. **Variação da Resistência à Compressão Paralela às Fibras da Madeira de *E. citriodora* com a Umidade.** VI EBRAMEN - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Florianópolis, julho de 1998.
11. BOOTLE, Keith R. **Wood in Australia: Types, properties and uses.** Australia, McGraw-Hill Book Company Austrália Pty Limited, 2001.
12. BRAY, Don E.; McBRIDE, Don. **Nondestructive Testing Techniques – New dimensions in engineering.** John Wiley & Sons, INC. 1992. ISBN: 0-471-52513-8.
13. CALIL JR, C.; DIAS, A. A. **Utilização da madeira em construções rurais.** In: Revista Brasileira em Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, Brasil, v.1, p.71-77, set/dez 1997.

14. CALLISTER, Willian D. JR. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5.ed. Rio de Janeiro, L T C, 2002.
15. CAVALCANTE, A.A. **Teoria de Utilização de Curvas Características de Secagem**. São Paulo, Boletim ABPM no. 54, 1987, 11p.
16. CHIESA, Mario et al. **RFID - A week long survey on the technology and its potential**. Interaction Design Institute Ivrea, March 04, 2002. Disponível em: <http://people.interaction-ivrea.it/c.noessel/RFID/RFID_research.pdf>. Acesso em: Março de 2005.
17. CHIORESCU, Sorin; GRÖNLUND, Anders. **The Fingerprint Method: Using Over-bark and Under-bark Log Measurement Data Generated by Three-dimensional Log Scanners in Combination with Radiofrequency Identification Tags to Achieve Traceability in the Log Yard at the Sawmill**. Scandinavian Journal of Forest Research, Publisher : Taylor & Francis, Volume 19, Number 4 / August 2004. ISSN 0282-7581.
18. CPFL – COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Inspeção e Manutenção Preventiva e Corretiva em Postes de Madeira**. Orientação técnica , São Paulo, No. 766, ver 1.0 , junho de 2001, 24p.
19. DIGISYSTEM – INDÚSTRIA DE SISTEMAS ELETRÔNICOS LTDA. **Medidor de Umidade para Madeiras – DL2000**. Manual de operação, 22p. Curitiba, 2005.
20. ENERGY AUSTRALIA. **NRS 145 – Pole Inspection and Treatment Procedures**. Network Refurbishment Standard NRS 145, July 2002. Disponível em : <<http://www.energy.com.au>> .Acesso em Janeiro de 2006.

21. ENERGYAUSTRALIA. **NUS 0146 – Pole Safety Inspection Before Pole Climbing or Before Working from an Elevating Work Platform**. Network Universal Standard NUS 0146, June 2000. Disponível em :
<<http://www.energy.com.au>> .Acesso em Janeiro de 2006.
22. ENERSUL. **Especificação – Postes de Eucalipto para Redes Aéreas de Distribuição**. Manual Técnico de Distribuição, rev. 2 , agosto 98, 30p.
23. FERREIRA, Oswaldo et al. **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SVMA e SindusCon-SP. São Paulo, 2003.
24. FINKENZELLER, Klaus. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**, Second Edition. Copyright 2003 John Wiley & Sons, Ltd. Giesecke & Devrient GmbH, Munich, Germany. ISBN:0-470-84402-7.
25. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rep. FPL – GTR – 113. Madison, WI: US. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products. 1999, 463p.
26. FRANCO, N. & WATAI, L.T. **Comparação entre Postes de Eucalipto Tratado e Postes de Concreto**. São Paulo, Boletim ABPM no. 46, 1986, 7p.
27. GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. **Ensaio dos Materiais**. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro, 2000, 247p. ISBN: 8521612214.

28. HODGES, Steve; HARRISON, Mark. **WHITE PAPER – Demystifying RFID: Principles & Practicalities**. Auto-ID Centre. Institute for Manufacturing, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom. October 2003. Disponível em: <<http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/automation/publications/documents/CAM-AUTOID-WH024.pdf>>. Acesso em: Março de 2005.
29. HOYT, Sean *et al.* **A tree Tour with Radio Frequency Identification (RFID) and a Personal Digital Assistant (PDA)**. In: IECON, November 2003. Roanoke, Virginia, USA.
30. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: DIVISÃO DE MADEIRAS. **Madeira – O que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo, ABPM, 1985. (Boletim ABPM, 37).
31. JARA, E.P. **Determinação do ponto de saturação das fibras de madeiras utilizadas no Brasil**. São Paulo, Boletim ABPM no. 58, 1987, 6p.
32. LEE, Youbok. **AN710 - Antenna Circuit Design for RFID Applications**. Microchip, Application Notes. 21 Janeiro de 2003. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00710c.pdf>>. Acesso em Março de 2005.
33. LEPAGE, Ennio S. **Comparação da Resistência Natural de Madeira através de Ensaio de Campo e de Laboratório**. São Paulo, Boletim ABPM no. 6, 1983, 8p.

34. LEPAGE, Ennio S. et al. **Manual de Preservação de Madeiras: Vol. I e II.** São Paulo, IPT – Divisão de Madeiras, 1986.
35. MINÁ, A.J.S. *et al.* **Avaliação não-destrutiva de postes de madeira por meio de ultra-som.** Revista SCIENTIA FLORESTALIS, n.65, p.188-196, jun. 2004.
36. MORRELL, J.J. **Wood Pole Maintenance Manual. (1996 Edition)** - Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis 1996.
37. PINHEIRO, José M.S. **Artigos PG Redes, RFID- Identificação por Radiofrequência.** Disponível em:
<http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_identificacao_por_radiofrequencia.php>. Acesso em: maio de 2005.
38. PRESCHEM Pty. Ltd. **Inservice Evaluation Report on Diffusion of Polesaver Rods.** Austrália, 2000.
39. PRESCHEM Pty. Ltd. **Preschem Polesaver Rods.** Austrália, 2004. CATÁLOGO. Disponível em: <http://www.prechem.com.au> .
40. PRESCHEM Pty. Ltd., CONSULTING & POWER Pty. Ltd. **Drilling of Holes into Poles to Determine Strength Loss.** Austrália, Março de 2005. Relatório referência: DISREAAK8, 13 páginas.
41. **REVISTA DA MADEIRA.** O Eucalipto. São Paulo: Editora, no. 75 – ano XIII, agosto de 2003.
42. RODRIGUES, R. A. **Variabilidade de Propriedades Físico-Mecânicas em Lotes de Madeira Serrada de Eucalipto para a Construção Civil.** Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

- Dissertação de Mestrado, Ciência e Tecnologia de Madeiras. Fevereiro de 2002.
43. SANTIAGO, A. J. **Concepção de aberturas em madeira na construção do espaço**. Dissertação de mestrado – 231 p. UFSC – Florianópolis – SC – 1996.
44. SAVI TECHNOLOGIES. **Active and Passive RFID: Two Distinct, But Complementary, Technologies for Real-Time Supply Chain Visibility**. Abridged by Q.E.D. Systems, 24 de Maio de 2002. Disponível em: <http://www.autoid.org/2002_Documents/sc31_wg4/docs_501-520/520_18000-7_WhitePaper.pdf>. Acesso em: março de 2005.
45. SMITH, Albert A. **Radio Frequency Principles and Applications – The generation, propagation, and reception of signals and noise**. IEE Press/Chapman & Hall Publishers Series on Microwave Technology and RF. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York. 1998. ISBN: 0-7803-3431-0.
46. SNMNQI – SISTEMA NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL & ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6231 – Postes de Madeira – Resistência à Flexão. Método de Ensaio**. São Paulo, Boletim ABPM no. 37, 1980, 7p.
47. TEXAS INSTRUMENTS. **TIRIS – Antenna Reference Guide**. Texas Instruments Manual Number 11-08-21-001, 3ª Edition, November 1996. Disponível em <<http://www.ti-RFID.com>> , acesso em dezembro de 2005.

- 48.VDC – VENTURE DEVELOPMENT CORPORATION. **The RFID Landscape**. In : UK RFID Networking Forum. Londres, Reino Unido, 5 de Maio de 2005.
- 49.VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. **Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais**. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIRÓZ, D.M. de; et al. (Ed.). Agricultura de Precisão. Viçosa: Os autores, 2000. p.65-75.
- 50.VIDOR, Flavio L.R. **Avaliação de Processos de Inspeção e Retratamento de Postes de Madeira**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Física e Química, PUCRS, Porto Alegre, 2003.
- 51.WILSON,Denise M.; HOYT,Sean; JOHN, D. St. **Diameter Sensing using Radio Frequency Identification for Precision Forestry Applications**. In: Proceedings of the First International Precision Forestry Symposium, Seattle, WA, USA, 17-20 June 2001. College of Forest Resources, Univ. of Washington.
- 52.WOODWARD, L. J. **Effective Management of Timber Power Poles**. Cheltenham: Preschem, 1998. Relatório de Pesquisa.
- 53.YABUKI,N.; SHIMADA,Y.; TOMITA,K. **An On-Site Inspection Support System Using Radio Frequency Identification Tags and Personal Digital Assistants**. In: Proceedings of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction CIB w78 conference 2002. Aarhus School of Architecture, 12-14 June 2002. Aarhus, Denmark.

8. Anexos :

Anexo A:

Programa de Inspeções

Região	Município	Rural	Urbano	Período de Inspeção	Postes de Madeira	Total geral (Madeira e Concreto)
Centro	Santa Maria	101	435	Jan/2006	490	536
	Sobradinho	140	300	Jan/2006	419	440
Centro Total		241	735		909	976
Fronteira Norte	Santiago	148	303	Jan/2006	420	451
	São Borja	201	207	Jan/2005	407	408
Fronteira Norte Total		349	510		827	859
Fronteira Sul	Rosário do Sul	150	346	Fev/2005	488	496
	Uruguaiana	225	331	Jul/2005	505	556
	Santana do Livramento	195	336	Jul/2005	508	531
Fronteira Sul Total		570	1.013		1501	1583
Metropolitana	Canoas		482	Mai/2005	442	482
	Dois Irmãos	133	460	Jul/2005	532	593
	Esteio		512	Jul/2005	451	512
	Harmonia		210	Jul/2005	194	210
	Ivoti		497	Nov/2005	458	497
	Montenegro		440	Jul/2005	372	440
	Novo Hamburgo		461	Jun/2005	358	461
	Portão		510	Jul/2005	468	510
	São Leopoldo		706	Abr/2005	683	706
	São Sebastião do Caí		345	Jul/2005	257	345
Estância Velha		470	Jun/2005	439	470	
Metropolitana Total		133	5.093		4654	5226
Vales	General Câmara		210	Fev/2006	198	210
	Lajeado		300	Fev/2006	279	300
	Rio Pardo		210	Fev/2006	191	210
	Santa Cruz		525	Fev/2006	398	525
	Taquari		300	Fev/2006	289	300
Vales Total			1.545		1355	1.545
Total geral		1.293	8.896		9246	10.189

Anexo C: Área de testes no TECNOPUC



Anexo D: Fotos das inspeções em campo

	
<p>Uruguaiana, inspeção de poste classe 4 (apodrecimento interno)</p>	
	
<p>Canoas, poste classe 3 (apodrecimento externo)</p>	<p>São Borja, inspeção da zona rural</p>
	
<p>Exemplo de placa metálica de identificação</p>	<p>Poste classe 2 substituído (apodrecimento inicial) Trocas indevidas geram prejuízo para companhia</p>