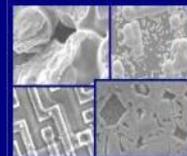




PUCRS

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

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

**AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE POSTES DE MADEIRA DE
EUCALIPTO EM SERVIÇO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FLÁVIO LUÍS REIS VIDOR

MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**TESE PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Porto Alegre

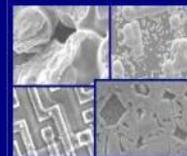
Março, 2011



PUCRS

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

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE POSTES DE MADEIRA DE EUCALIPTO EM SERVIÇO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

FLÁVIO LUÍS REIS VIDOR

MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

ORIENTADOR: PROF. DR. MARÇAL JOSÉ RODRIGUES PIRES

CO-ORIENTADOR: Prof(a). Dr(a). BERENICE ANINA DEDAVID

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

Trabalho vinculado ao Projeto Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Energia Elétrica - Fase 3

**Porto Alegre
Março, 2011**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha Fernanda, a quem amo incondicionalmente e que faz valer a pena cada obstáculo superado, objetivo alcançado e sonho realizado, em fim cada momento vivido.

A toda minha família por fazerem parte da minha história de vida e pelo apoio, mesmo naqueles momentos em que sei que não fui a melhor companhia. Especialmente a meu pai, companheiro de todas as horas e muitas pescarias e a minha amada mãe (*in memoriam*) por ter, durante 48 anos, me brindado com sua insubstituível presença e amor.

A minha amada Marisa por ter permanecido ao meu lado como parceira e mulher, em todos os momentos me incentivando e me apoiando.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Marçal Pires e co-orientadora Prof^a. Dr. Berenice Dedavid pelo apoio e dedicação dispensados durante este período de agradável convívio.

A toda a equipe do Laboratório de Química Ambiental da PUCRS, em especial aos colegas William Spagnolo e Rafael Abruzi.

A empresa AES Sul pelo apoio e financiamento do projeto e postes Mariani pela parceria e disponibilidade dos amigos Joarez e Carlos.

Ao sócio e amigo Luis Fernando Perello pela amizade e companheirismo incontestáveis ao longo de tantos anos.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE QUADROS	15
LISTA DE SÍMBOLOS	16
RESUMO	18
ABSTRACT	19
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivos Específicos	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1. Características da madeira	24
3.1.1. Deterioração da madeira.....	26
3.1.2. Propriedades da madeira.....	27
3.1.3. Ensaio mecânicos da madeira.....	28
3.1.4. Ensaio em postes de madeira.....	29
3.2. O eucalipto	31
3.3. O poste de eucalipto	33
3.3.1. Deterioração do poste de madeira.....	38
3.3.2. Tratamento curativo em postes de madeira.....	39
3.4. Inspeção de postes em serviço	42
3.4.1. Trabalhos já realizados na área de estudo.....	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1. Postes novos	49
4.1.1. Florestas de eucalipto.....	49
4.1.2. Usina de preservação de madeira.....	51
4.2. Inspeções dos postes em serviço	53
4.3. Retratamento de postes de madeira	58

4.4. Seleção e coleta de postes para testes de resistência mecânica	60
4.5. Testes de resistência mecânica	61
4.6. Tratamento estatístico	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
5.1. Postes novos.....	69
5.1.1. Florestas de eucalipto	69
5.1.2. Usina de preservação de madeira	71
5.1.2.1. Resultados do fabricante A	71
5.1.2.2. Resultados do fabricante B	73
5.2. Inspeções dos postes em serviço	74
5.2.1. Resultados do grupo 1	78
5.2.2. Resultados do grupo 2	82
5.2.3. Resultados do grupo 3	87
5.2.4. Inferência estatística.....	90
5.2.5. Modelo de sobrevivência paramétrico	91
5.2.6. Modelo de sobrevivência logístico	92
5.3. Retratamento de postes de madeira	94
5.3.1. Área de testes de Barreto (Triunfo-RS).....	94
5.3.2. Área de testes de Canoas.....	97
5.4. Testes de resistência mecânica	98
6. CONCLUSÕES.....	106
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Eixos principais da madeira em relação à direção dos grãos e anéis de crescimento. Adaptado de Wood Handbook, 2010.	28
Figura 3.2 Esquema de um dispositivo para testes de flexão dinâmica em postes de madeira segundo NBR 6231 – dez/1980. (Adaptado de Proposta de Revisão das NBRs 8456 e 8457).....	30
Figura 3.3 Potencial de ataque fúngico no Brasil baseado em dados climatológicos (Adaptado de Preservação de Madeiras – Sistema de Categorias de Uso, NBR em revisão).	39
Figura 3.4 Idade dos postes em serviço, conforme placas de identificação (fase 2).	45
Figura 3.5 Classificação dos postes em função do estado de conservação (fase 2).	47
Figura 3.6 Relação entre o preservativo, tempo de serviço e a classificação dos postes em serviço (fase 2).	48
Figura 4.1 Talhão de <i>E. grandis</i> para colheita de postes em Cachoeira do Sul.	50
Figura 4.2 Corte mecanizado empregado em floresta de Caçapava do Sul.	50
Figura 4.3 Descascamento dos postes feito na floresta em Caçapava do Sul.	50
Figura 4.4 Postes armazenados a sombra na floresta em Pântano Grande.	50
Figura 4.5 Apodrecimento do cerne.....	51
Figura 4.6 Rachaduras na base.	51
Figura 4.7 Controle de umidade em postes.	52
Figura 4.8 Preparação dos postes.	52
Figura 4.9 Tratamento dos postes em autoclave.	52
Figura 4.10 Poste sendo flexionado para avaliação de resistência mecânica.	52
Figura 4.11 Coleta de CCA-C para análise (Fabricante B).....	53
Figura 4.12 Amostra de CCA-C coletada para análise de diluição (Fabricante A).	53

Figura 4.13 Coleta de amostra de madeira.	53
Figura 4.14 Amostras de madeira (tarugos).....	53
Figura 4.15 Fluxograma de inspeções e reinspeções.	55
Figura 4.16 Inspeção externa do poste.....	56
Figura 4.17 Inspeção do poste por percussão.....	56
Figura 4.18 (A e B). Escavação na base do poste e medição dos diâmetros 1 e 2. ..	57
Figura 4.19 Perfuração para inspeção interna.....	57
Figura 4.20 (A e B) Colocação de bastonete de preservativo e tampão de PVC.	58
Figura 4.21 Fechamento da cava de inspeção e retratamento.....	58
Figura 4.22 Área de teste de retratamento em Triunfo-RS.....	59
Figura 4.23 Área de teste de retratamento em Canoas-RS.	59
Figura 4.24 Retratamento externo com bandagem.....	60
Figura 4.25 Tratamento interno com bastonetes.....	60
Figura 4.26 (A e B) Postes identificados para coleta e realização de testes.	61
Figura 4.27 Layout da área de testes de flexão (adaptado de Alencastro, 2010).	64
Figura 4.28 Esquema do sistema de flexão dos postes (Alencastro, 2010).	65
Figura 5.1 Postes dispostos em contato direto com o solo.	70
Figura 5.2 (A e B) Retenção de CCA em amostras de postes novos – Fabricante A	72
Figura 5.3 (A e B) Retenção de CCA em amostras de postes novos – Fabricante B	74
Figura 5.4 Quantidade de postes inspecionados em cada município.....	74
Figura 5.5 Distribuição dos postes inspecionados por região.	75
Figura 5.6 Distribuição dos postes inspecionados por comprimento.	76

Figura 5.7 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 1	78
Figura 5.8 Comparação entre os postes do grupo 1, com e sem placa de identificação na terceira inspeção.....	79
Figura 5.9 Comparativo entre as idades dos postes em serviço (agrupados em intervalos de cinco anos) entre as três inspeções.	79
Figura 5.10 Avanço entre as classes para as três inspeções dos postes de Canoas e Montenegro.....	80
Figura 5.11 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 2.	82
Figura 5.12 Comparação entre postes do grupo 2, com e sem placa de identificação na terceira inspeção.	83
Figura 5.13 Comparativo entre as idades dos postes em serviço (agrupados em intervalos de cinco anos) entre as três inspeções.	83
Figura 5.14 Avanço entre as classes para as três inspeções dos postes de Canoas e Montenegro.....	84
Figura 5.15 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 2.	87
Figura 5.16 Avanço entre classes para as inspeções dos postes do grupo 3.....	87
Figura 5.17 Comparação entre postes com e sem placa de identificação (grupo 3).	88
Figura 5.18 Comparativo entre as idades dos postes do grupo 3, agrupados em intervalos de cinco anos.	89
Figura 5.19 Relação entre parâmetros qualitativos (dissolução de Boro) e quantitativos (concentração de Boro) na área de testes de Barreto.	95
Figura 5.20 Comparativo entre peças com aplicação da bandagem de Boro/Flúor e outro sem, após 3 anos (área de testes de Barreto).	97
Figura 5.21 (A e B) Colorimetria para difusão do Boro (área de testes de Canoas).	97
Figura 5.22 Proporção entre as classes dos postes utilizados nos testes de resistência mecânica a flexão.....	99

Figura 5.23 Valores médios de módulo de resistência à flexão e desvio padrão de postes das quatro classes..... 100

Figura 5.24 Valores médios de módulo de elasticidade e desvio padrão de postes das quatro classes..... 101

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Dados de literatura referente ao limite de resistência à flexão (δf) e ao Módulo de elasticidade à flexão (Ef) obtidos em testes de flexão em postes de eucalipto.....	35
Tabela 3.2 Propriedades físicas e mecânicas de seis espécies de eucaliptos utilizados na fabricação de postes (NBR 8456, 1984).	36
Tabela 3.3 Parâmetros de classificação dos postes de madeira em serviço.	45
Tabela 4.1 Postes inspecionados para tratamento estatístico.	66
Tabela 5.1 Distribuição dos postes inspecionados entre as zonas urbana e rural.	76
Tabela 5.2 Distribuição dos postes por tipo de terreno.	76
Tabela 5.3 Presença da placa de identificação nos postes de madeira.....	77
Tabela 5.4 Descritivas da idade dos postes por inspeção.	77
Tabela 5.5 Proporção entre postes de madeira e concreto nas três inspeções.	78
Tabela 5.6 Contagem de classificação dos postes por intervalo de idade para as três inspeções dos postes do grupo 1.	80
Tabela 5.7 Contagem de migração dos postes entre as classes (1 ^a para a 2 ^a inspeção).....	81
Tabela 5.8 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (1 ^a para a 2 ^a inspeção).....	81
Tabela 5.9 Contagem de migração dos postes entre as classes (2 ^a para a 3 ^a inspeção).....	82
Tabela 5.10 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (2 ^a para a 3 ^a inspeção).....	82
Tabela 5.11 Classificação dos postes por intervalo de idade para as inspeções do grupo 2.	84
Tabela 5.12 Contagem de migração dos postes entre as classes (1 ^a para a 2 ^a inspeção).....	85

Tabela 5.13 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (1ª para a 2ª inspeção).....	85
Tabela 5.14 Contagem de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).....	86
Tabela 5.15 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).....	86
Tabela 5.16 Postes com e sem placa de identificação, relacionados por município da área de amostragem.	88
Tabela 5.17 Contagem de classificação dos postes por intervalo de idade para as duas inspeções dos postes do grupo 3.	89
Tabela 5.18 Idades médias dos postes nas zonas rural e urbana.	90
Tabela 5.19 Idades médias de postes em local com calçada e sem calçada.	90
Tabela 5.20 Idades médias dos postes nas três regiões.	91
Tabela 5.21 Idades médias dos postes conforme o tipo de preservativo de tratamento.	91
Tabela 5.22 Modelo ajustado para estimar a expectativa de vida dos postes.	92
Tabela 5.23 Modelo de sobrevivência logístico.	92
Tabela 5.24 Colorimetria para Boro em discos de madeira tratada internamente com bastonetes de Boro/Flúor (área de testes de Barreto).	95
Tabela 5.25 Relação entre as datas de fabricação e as classes dos postes nos quais foram realizados testes de resistência mecânica a flexão.	98
Tabela 5.26 Relação entre os comprimentos e as classes dos postes utilizados nos testes de resistência mecânica a flexão.	99
Tabela 5.27 Comparação de teste de normalidade e homocedasticidade entre as variáveis MORf e MOEf de postes submetidos a testes de resistência mecânica a flexão.	102
Tabela 5.28 Resultados de MORf para as classes dos postes utilizados nos teste Kruskal-Wallis.....	102
Tabela 5.29 Resultados de MORf para comparação múltipla entra as classes com utilização do teste de Dunn.....	103

Tabela 5.30 Resultados de MOEf para as classes dos postes utilizados nos teste Kruskal-Wallis.....	103
Tabela 5.31 Resultados de MOEf para comparação múltipla entra as classes com utilização do teste de Dunn.....	104
Tabela 5.32 Valores médios (em MPa) dos testes de flexão para MORf em postes identificados por data de fabricação.....	104
Tabela 5.33 Resultados médios dos testes de flexão para MORf e MOEf em postes identificados por comprimento.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 Postes programados para reinspeções em cada município.....	54
---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
GPS	<i>Global Positioning Systems</i>
CCA-C	Arseniato de Cobre Cromatado Tipo C
Σe	Limite de escoamento
Ef	Módulo de elasticidade à flexão
δf	Limite de resistência à flexão
km ²	Quilômetro quadrado
g/cm ³	Gramas por centímetros cúbicos
mg/kg	Miligrama por quilograma
g.kg	Gramas por quilograma
Km	Quilômetro
m	Metro
cm	Centímetro
cm/min	Centímetro por minuto
°	Graus (ângulo)
N	Newton
V	Volt
kV	Quilo-volt
Kgf	Quilograma-força
daN/cm ²	Decanewton por centímetro quadrado
Kcal	Quilocalorias
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
Ø	Diâmetro
D1	Diâmetro um
D2	Diâmetro dois
pH	Potencial hidrogeniônico
Cr	Cromo
O	Oxigênio
As	Arsênio

Cu	Cobre	
UTM	Projeção Transversal Universal de Mercator	
x	Flecha no sentido vertical	cm
Y	Deslocamento do ponto de aplicação de carga em direção à base do poste	cm
H	Comprimento total do poste	m
Hu	Comprimento útil do poste	m
E	Comprimento de engastamento	cm
A	Escala graduada	cm
MORf	Módulo de resistência à flexão na seção de engastamento	MPa
MOEf	Módulo de elasticidade	MPa
V	Velocidade de deformação	cm/min
h_u	Braço de alavanca	cm
C	Circunferência na seção de engastamento	cm
c	Circunferência no ponto de aplicação de carga	cm
K	Constante	0,00146
p	Carga de ruptura	N
P	Carga de ruptura	kgf
ℓ	Distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de "Y"	cm
ppm	Parte por milhão	mg/kg

RESUMO

VIDOR, Flávio L. R. **Avaliação da Vida Útil de Postes de Madeira de Eucalipto em Serviço em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**, Porto Alegre. 2009. Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

A utilização de postes de madeira como suporte para redes de distribuição de eletricidade é uma prática bastante comum no sul do Brasil. O estado do Rio Grande do Sul tem sua rede de distribuição de energia elétrica, em sua maior parte, estruturada sobre postes de eucalipto cultivados e tratados com produtos preservativos. Somente na região centro-oeste deste estado, área de abrangência do estudo, são mais de 500 mil postes de madeira em serviço. Para a realização deste estudo foram reinspecionados mais de 9 mil postes em 20 municípios do RS. Estes postes já haviam sido inspecionados e classificados no período entre 2001 a 2006 e foram reavaliados com o objetivo de conhecer a evolução do seu processo de deterioração e sua gradativa perda de resistência mecânica ao longo do tempo. Parte destes postes inspecionados também foi submetida a tratamento curativo *in loco* com um preservativo difusível à base de boro/flúor, utilizado para interromper o processo de deterioração. Foram realizados testes de resistência mecânica em 77 postes coletados das redes, cujos resultados foram relacionados com o seu estado de conservação buscando traçar um perfil da perda de sua resistência ao longo da sua vida útil. Os resultados obtidos mostram uma relação estreita entre a resistência à flexão dinâmica (MOR_f) e módulo de elasticidade a flexão dinâmica (MOE_f), com o estado de conservação dos postes na rede. As inspeções periódicas permitiram um diagnóstico do estado geral de conservação dos postes em serviço, onde foi constatado que mais de 60% dos postes se encontravam nas classes 1 e 2, ou seja, em bom estado de conservação. Os resultados indicaram também uma sobrevivência média para os postes de madeira de 23 anos, o que supera o mínimo de 15 anos, estabelecido em norma.

Palavras-Chaves: inspeção, resistência mecânica, postes de madeira.

ABSTRACT

VIDOR, Flávio L. R. **Evaluation of Shelf Life of Eucalyptus Wooden Poles, in-Service in Networks of Electricity**, Porto Alegre. 2009. Thesis for obtaining a doctorate in materials engineering and technology. Post-Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The use of wooden poles as support for distribution of electricity is a fairly common practice in southern Brazil. The state of Rio Grande do Sul has its distribution network of electric power, for the most part, structured on eucalyptus poles cultured and treated with preservatives. Only in the mid-west region of this state, coverage area of the study was more than 500.000 wood poles in-service. For this study, more than 9.000 poles were re-inspected, in 20 municipalities in RS. These poles had been inspected and rated for the period between 2001 to 2006 and were reassessed in order to evaluate the changing process of gradual deterioration and loss of strength over time. Some of the poles inspected were also subjected to curative treatment in situ with a diffusible preservative based on boron/fluoride, used to stop the deterioration process. Strength tests were performed on 77 poles collected from the networks, whose results were related to their state of conservation in order to draw a profile of the loss of strength throughout its life. The results show a close relationship between the flexural dynamics (MOR_f) and the bending modulus dynamics (MOE_f), with the conservation status of the poles on the net. The inspections led to a diagnosis of periodic state of conservation of poles in- service, where it was found that over 60% of the poles were in classes 1 and 2, ie. in good condition. Results also indicated a median survival of wood poles for 23 years, which exceeds the minimum of 15 years, established a norm.

Keywords: inspection, mechanical resistance, wood poles.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da utilização da madeira, o homem observou diferenças entre suas propriedades mecânicas e o processo de deterioração, à medida que variavam as espécies e as condições do meio ao qual o material encontrava-se exposto. Percebeu também que a porção externa dos troncos, geralmente de coloração mais clara, se deteriorava com maior rapidez do que a parte interna, geralmente mais escura (LEPAGE, 1986).

A madeira constitui um dos mais antigos materiais utilizados na construção, sendo, ao mesmo tempo e curiosamente, ainda um dos materiais de construção que proporciona maiores desconfiâncias e incertezas na sua utilização. É importante considerar que a madeira maciça, ao contrário da maioria dos outros materiais e produtos da construção, resulta da atividade de um ser vivo (árvore), mediante as suas necessidades fisiológicas, em função de um conjunto complexo de fatores externos (relevo do terreno, clima, etc.). Deste modo as propriedades mecânicas e físicas de uma dada madeira, mesmo considerando somente uma espécie florestal, caracterizam-se por uma elevada variabilidade (MACHADO, 2008).

Devido a sua composição, a madeira encontra-se sujeita à deterioração e à progressiva perda de massa, o que acaba resultando em alterações nas suas propriedades químicas e mecânicas (ZELINKA et al, 2006). Entre suas propriedades, a resistência mecânica à tração e à compressão tem importante papel no uso deste material para fins estruturais, pois à medida que é reduzida a resistência, entra em risco o sistema de sustentação proposto, podendo resultar em queda ou rompimento do mesmo.

Uma aplicação bastante difundida hoje em dia para este material é a fabricação de postes para a sustentação de redes de eletricidade. Muitos dos postes presentes hoje nas redes de distribuição de energia elétrica em várias partes do

mundo são constituídos de madeira, sendo os de eucaliptos e pinus os mais utilizados (GERALDO, 2003).

Segundo SANDOZ & BENOIT (2005), é estimada uma proporção de um poste de madeira para cada dois habitantes na Europa Ocidental. No estado canadense de Ontário, somente nas redes de distribuição de energia elétrica, são mais de 2 milhões de postes de madeira em serviço (GUSTAVSEN, 2005; DATLA, 2005). No Brasil, os estados da região sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) se caracterizam pelo uso mais intensivo deste tipo material em postes, principalmente nas redes de baixa tensão (até 1.000 V) e média tensão (acima de 1.000 V até 36,2 kV).

No Rio Grande do Sul são cerca de 2,9 milhões de postes em serviço, dos quais 79% são de madeira e 21% de concreto. Somente nas redes da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A, distribuidora que atende a região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, são quase 710 mil postes, sendo que destes cerca de 507 mil são de madeira (BRASIL-ANEEL, 2009).

Os postes de madeira no Brasil, segundo a NBR 8456 – Postes de Eucalipto Preservado Para Redes de Distribuição de Energia Elétrica (ABNT, 1984) devem ser produzidos com madeira de eucalipto das espécies: *Eucalyptus alba*, *E. botryoides*, *Corymbia citriodora* (Ex *Eucalyptus citriodora*), *E. grandis*, *E. paniculata*, *E. rostrata*, *E. saligna* e *E. tereticornis*. Verifica-se, no entanto, que muitas vezes este critério usado na seleção de madeiras para este fim tem se mostrado ineficiente, devido a fatores como: dificuldades na identificação de algumas espécies, eventual falta de disponibilidade destas espécies e oferta de espécies não elencadas na referida norma, entre outros.

No uso de eucalipto para postes, onde a resistência mecânica, boa tratabilidade e maior resistência à deterioração são relevantes, nem sempre a definição da espécie de eucalipto é garantia da qualidade desejada. Diante disso as NBRs 8456 e 8457 (ABNT, 1984) estão sendo reavaliadas em relação aos aspectos citados, entre outros, e está sendo proposta a utilização de espécies variadas, híbridos e clones de eucalipto desde que garantidas características dimensionais, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade à flexão estática adequadas (NBR 8456, Proposta de Revisão).

O projeto de pesquisa ao qual este estudo está vinculado foi desenvolvido em três fases, sendo resultado de uma parceria entre a empresa AES Sul e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul-PUCRS. Nas fases 1 e 2 do projeto, desenvolvidas no período entre 2001 a 2006, foram testados métodos de inspeção, cadastro, mapeamento e retratamento de postes de madeira em serviço. Foram inspecionados 10.600 postes nas redes de distribuição, os quais, nesta terceira fase foram novamente inspecionados, seguindo a metodologia desenvolvida e testada nas duas primeiras fases (VIDOR, 2003). Esta metodologia de inspeção encontra-se descrita no capítulo 4.2.

Embora os resultados dos estudos anteriores (fases 1 e 2) tenham fornecido dados referentes o estado dos postes em serviço no momento da inspeção, não foram geradas informações sobre a evolução do processo de deterioração destas estruturas ao longo de sua vida útil. Também não era ainda conhecido como ocorre à perda de resistência mecânica dos postes ao longo do seu período de utilização nas redes.

Como parte deste estudo foram coletados postes de madeira, retirados das redes, para a avaliação da sua resistência mecânica, através de testes de flexão estática. Estes testes foram realizados em um equipamento especialmente desenvolvido para este fim, instalado no campus da PUCRS localizado no município de Viamão-RS. Os resultados obtidos referentes à resistência mecânica dos postes retirados de serviço foram comparados aos dos postes novos que, por sua vez, dentro do escopo deste estudo, passaram por uma avaliação de todo seu ciclo de produção, iniciando pela colheita na floresta, até o produto acabado.

O trabalho aqui apresentado se coloca como uma ferramenta de auxílio no entendimento destas questões, que são de relevante importância na gestão do sistema de distribuição de energia elétrica.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é identificar, através de inspeções periódicas, como ocorre o processo de deterioração dos postes de madeira de eucalipto em serviço e com isso estabelecer sua expectativa de tempo de vida útil para estas estruturas.

2.1. Objetivos Específicos

- a) Avaliar a qualidade dos postes de madeira novos e identificar eventuais falhas no ciclo de produção que possam comprometer sua qualidade e durabilidade.
- b) Identificar a evolução do processo de deterioração de postes de madeira em serviço, através de inspeções programadas entre 2001 e 2010.
- c) Relacionar o decaimento da resistência mecânica com o nível de deterioração visível do poste, em função de parâmetros classificatórios usuais.
- d) Estabelecer, com base em testes estatísticos, uma expectativa de vida útil média para os postes de madeira.
- e) Avaliar o processo de difusão de produtos preservativos a base de boro/flúor utilizados para retratamento de postes de madeira em serviço.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características da madeira

A madeira é um material de origem florestal que pode ser obtido tanto de florestas nativas como cultivadas. Quando oriunda de área de cultivo, as condições e técnicas de manejo podem afetar fortemente suas propriedades e consequentemente seu desempenho como material (SANDOZ & BENOIT, 2009).

Segundo FOELKEL (1977), a madeira, quando seca, possui composição surpreendentemente constante e aproximadamente: 50% carbono, 44% oxigênio, 6% hidrogênio, 0,1% nitrogênio e 0,3% cinzas (material inorgânico). Tais elementos químicos se combinam para formar os principais elementos da madeira: celulose (45-45%), hemicelulose (20-30%), lignina (18-25% para folhosas e 25-35% para coníferas) e extrativos (3-8%). Se caracteriza em geral pela fácil absorção de água (higroscopia) e por apresentar ortotropia onde propriedades físicas variam conforme a orientação espacial (FOELKEL, 1977).

Devido a sua disponibilidade e características, a madeira foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela humanidade. Várias são as conjecturas sobre quais foram suas primeiras utilizações, mas é de se supor que o homem primeiramente a empregou como arma, e tão logo aprendeu a fazer fogo, há cerca de 16.000 anos, como combustível (ABPM, 1985). Por se tratar de um material naturalmente resistente e relativamente leve, atualmente vem sendo largamente utilizado para fins estruturais e de sustentação nas construções.

A madeira é uma importante fonte de energia, sendo utilizada como lenha e carvão numa parte importante do mundo. A sua utilização para a produção de polpa está na origem da indústria papelreira e de algumas indústrias químicas nas quais é utilizada como fonte de diversos compostos orgânicos. A indústria florestal ocupa vastas áreas da Terra e a exploração de madeira em florestas naturais continua a

ser uma das principais causas de desflorestação e de perda de habitat para múltiplas espécies (FAO, 2010).

As florestas primárias, em locais acessíveis e com árvores de porte comercial, que até então vem sendo prontamente cortadas para fornecimento de produtos madeireiros, tendem a ser gradativamente substituídas por florestas cultivadas. Tais florestas certamente oferecem madeiras diferentes quanto à propriedades como resistência mecânica e resistência ao ataque de agentes causadores de deterioração. Como contrapartida para possibilitar o emprego deste novo tipo de madeira é cada vez mais necessário o emprego de produtos e técnicas que proporcionem melhora nestas propriedades (FAO, 2007).

Segundo dados do relatório “Situação das Florestas no Mundo 2009”, diariamente são destruídos 200 km² de florestas em todo o Mundo, o que representa um total de cerca de 13 milhões de hectares de florestas perdidos a cada ano. Porém, estudos vem demonstrando que a perda líquida (diferença entre o volume de floresta cortada e o volume repostado na forma de cultivo) encontra-se em queda, pois, no período compreendido entre 1990 e 2000 a perda foi de 8,9 milhões de hectares/ano. Já entre o período de 2000 a 2005 a perda caiu para 7,3 milhões de hectares/ano (FAO, 2009).

Há oito mil anos, o Brasil possuía 9,8% das florestas mundiais, hoje, o país detém 28,3% deste recurso. Dos 64 milhões de km² de florestas existentes antes da expansão demográfica e tecnológica humana, restam menos de 15,5 milhões de km². Mais de 75% das florestas primárias já desapareceram. Com exceção de uma parte das Américas, todos continentes desmataram, e muito (EMBRAPA, 2009). Por outro lado o setor florestal emprega cerca de 13 milhões de pessoas, gerando um valor agregado bruto de 354 bilhões de dólares ao ano (FAO, 2007).

A produção mundial de madeira para todos os fins aproxima-se de 3,3 bilhões de m³/ano, sendo que seis países produzem mais da metade de toda a madeira utilizada no mundo: Estados Unidos, China, Índia, Brasil, Indonésia e Canadá. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de madeira, participando com 6% do total. Os EUA e Canadá respondem juntos por mais de 40% da produção mundial de madeira bruta para produção de serrados, laminados e compensados. Os EUA participam também com quase 40% de toda a produção mundial da madeira utilizada na fabricação de celulose e papel (CEPA-EPAGRI, 2010).

A União Europeia, EUA e Japão são os grandes consumidores de produtos florestais e o comércio mundial de madeira e seus derivados é de cerca de 275 bilhões de dólares por ano. O Canadá é o maior exportador mundial de madeira, participando com quase 20% do valor total exportado. Os cinco maiores exportadores (Canadá, EUA, Finlândia, Suécia e Alemanha) respondem por mais da metade das exportações mundiais. O Brasil é um grande produtor e consumidor de madeira, ocupa apenas a 14^a posição no ranking dos exportadores do produto (CEPA-EPAGRI, 2010).

A madeira em muitos usos concorre com materiais como o aço, o alumínio e o cimento. Por apresentar menor gasto energético na sua extração e beneficiamento se pode atribuir-lhe o status de material ambientalmente sustentável (BRAZOLIN et al, 2003), logo é de se supor que, por ser um recurso renovável, a madeira continuará sendo um material extensivamente usado, principalmente por países detentores de tecnologias que possibilitem otimização de propriedades, como resistência mecânica e resistência à deterioração.

3.1.1. Deterioração da madeira

A madeira é um material de origem biológica e assim encontra-se sujeito à deterioração que pode ser causada pela ação de agentes físicos, químicos e biológicos, sendo estes últimos os mais importantes e dos quais os fungos possuem destacado papel (SOLO, 2000).

Os fungos apodrecedores da madeira apresentam potencialidades deterioradoras dos compostos da parede celular, catalisando-os e transformando-os em substâncias menos complexas e solúveis, que podem ser absorvidas e digeridas pelos fungos resultando em vários tipos de apodrecimentos na madeira (MESQUITA, 2006).

- Podridão parda → a madeira que apresenta podridão-parda tem o aspecto de ser levemente queimada, adquirindo coloração parda, com rachaduras perpendiculares e paralelas às fibras. Essa forma de podridão é causada por fungos pertencentes aos basidiomycetos que promovem uma contínua deterioração da celulose e hemicelulose, deixando a lignina praticamente intacta (MESQUITA, 2006);

- Podridão branca → é grande o número de espécies de fungos causadores da podridão branca, sendo a maioria basidiomycetos. Degradam os componentes da madeira: celulose, hemicelulose e lignina, a partir dos quais obtém energia para seu crescimento e reprodução (MACIEL, 2010). A madeira atacada por estes fungos apresenta um aspecto mais claro e macio (ZENI, 2004);
- Podridão mole → os fungos de podridão mole causam alterações na parede das células que, a nível macroscópico pode ser descrito de dois tipos: tipo 1, no qual ocorre a formação de cavidades na camada S2 da parede secundária da célula; e tipo 2, com a erosão das camadas da parede celular ao redor das hifas que estão crescendo no lume da célula. O ataque tipo 1 é a forma clássica de deterioração da madeira atribuída aos fungos de podridão mole. O ataque tipo 2 ocorre predominantemente em madeiras de folhosa de baixa resistência natural a fungos apodrecedores (BRAZOLIN, 1999).

MALUF (1998) destaca a importância dos fungos como causadores de apodrecimento em troncos de árvores vivas. Este apodrecimento é a principal causa de danos às florestas do mundo, principalmente naquelas manejadas para a produção de madeira para serraria.

Os fungos apodrecedores da madeira de árvores vivas são diferentes daqueles que agem sobre as árvores mortas. No primeiro caso alguns autores chamam a atenção para as defesas impostas pelo hospedeiro, o que já não ocorre quando da infestação em madeira de árvore sem vida (MALUF, 1998, ALEXOPOULOS, 1996).

3.1.2. Propriedades da madeira

Produtos de origem vegetal, como a madeira, estão constantemente sujeitos à influências do meio (como umidade, condições do solo e espaço de crescimento) que podem resultar em considerável variabilidade nas propriedades do material. A madeira pode ser descrita como um material anisotrópico no qual as propriedades mecânicas variam conforme a direção relativa a três eixos (Figura 3.1): longitudinal que é paralelo as fibras (grãos), radial que é normal para o crescimento dos anéis (perpendicular a grã na direção radial) e tangencial que é perpendicular ao grão mas tangente aos anéis de crescimento (KRETSCHMANN, 2010).

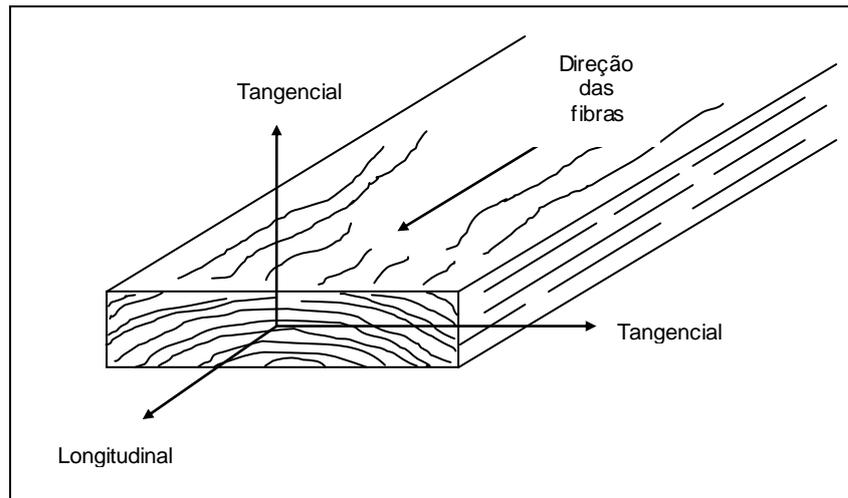


Figura 3.1 Eixos principais da madeira em relação à direção dos grãos e anéis de crescimento. Adaptado de Wood Handbook, 2010.

As propriedades de resistência são as que mais despertam interesse na madeira, entre elas estão: módulo de resistência, módulo de elasticidade à flexão e módulo de compressão paralela e perpendicular às fibras. Medições adicionais muitas vezes são necessárias para avaliar a resistência máxima em serviço, com resistência ao impacto e tração paralela e perpendicular às fibras (KRETSCHMANN, 2010).

As propriedades da madeira, para certas espécies arbóreas, já são bem conhecidas. Porém, quando se trata de madeiras em que propriedades específicas relacionadas ao uso proposto não são suficientemente entendidas, são recomendados testes físicos e químicos que irão contribuir na escolha da espécie mais adequada. No uso da madeira para a fabricação de postes, algumas características são fundamentais, como: proporção cerne/alburno, morfologia da árvore, resistência mecânica e a deterioração biológica, entre outras (ABNT, 1984).

3.1.3. Ensaios mecânicos da madeira

A utilização estrutural eficiente de qualquer material depende de uma boa compreensão do seu comportamento mecânico. Para a madeira, material caracteristicamente heterogêneo, a determinação de suas propriedades mecânicas é condição fundamental para sua utilização (SOTELO, 2005).

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades mecânicas que se referem ao comportamento de um material quando sob a ação de esforços e

que são expressas em função de tensões e/ou deformações. Através dos ensaios mecânicos podem ser obtidas propriedades como: Resistência, Elasticidade, Plasticidade, Resiliência e Tenacidade. Estes ensaios podem ser classificados em: **destrutivos**, quando provocam a inutilização parcial ou total da peça e **não-destrutivos**, quando não comprometem a integridade da peça (GARCIA et al, 2000).

Entre estas propriedades pode-se destacar a resistência que é a capacidade de um material suportar a uma força aplicada, ou seja, sua aptidão de suportar tensões. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos de ruptura ou de deformação específica.

O objetivo de realizar ensaios mecânicos em peças de madeira é determinar suas propriedades mecânicas características e desta forma estimar a sua resistência à ação de forças externas as quais estas peças estarão sujeitas. Os primeiros ensaios na madeira, buscando analisar a relação entre o carregamento e seus efeitos (tensões e deformação), foram feitos por Galileu, em 1638 e por Hooke, em 1678 (BALLARIN & NOGUEIRA, 2003).

Nas últimas décadas, vários trabalhos relevantes (SOTELO, 2005; BARADIT, 2006; SILVA, 2007; OSUNKOYA et al. 2007) têm sido dedicados a investigar e mensurar as propriedades mecânicas de diferentes madeiras. Os testes vão desde ensaios estáticos convencionais (compressão, tração, flexão e torção) até os não-destrutivos (vibração longitudinal, vibração transversal, ultra-som e ondas de tensão).

No caso de peças de madeira utilizadas na fabricação de postes, os ensaios costumam ser destrutivos onde uma carga em velocidade controlada é aplicada de forma constante até a ruptura da peça, determinando assim seu limite de resistência mecânica.

3.1.4. Ensaio em postes de madeira

Assim como em outras estruturas de madeira, nos postes podem ser realizados ensaios destrutivos e não-destrutivos. Um trabalho realizado por TSANG & CHAN (2008) avaliou, por meio de um ensaio não-destrutivo, o estado de conservação em postes de redes de alta tensão utilizando ondas acústicas, as quais sofrem variações conforme o nível de deterioração interna da madeira dos postes.

O ensaio de flexão consiste na aplicação progressiva de uma força em determinados pontos de uma barra de geometria padronizada. É um ensaio destrutivo, onde o resultado é o valor da força aplicada pela deformação máxima. A carga parte de um valor inicial igual a zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova (ABNT, 1984).

Nos postes, o ensaio de flexão é realizado na estrutura como um todo (Figura 3.2), conforme determina a NBR 6231 (ABNT, 1980). A resistência nominal é a carga que o poste pode suportar sem sofrer deformações permanentes. Considerada como uma força contida no plano de aplicação dos esforços e passando pelo eixo do poste (ABNT, 1984).

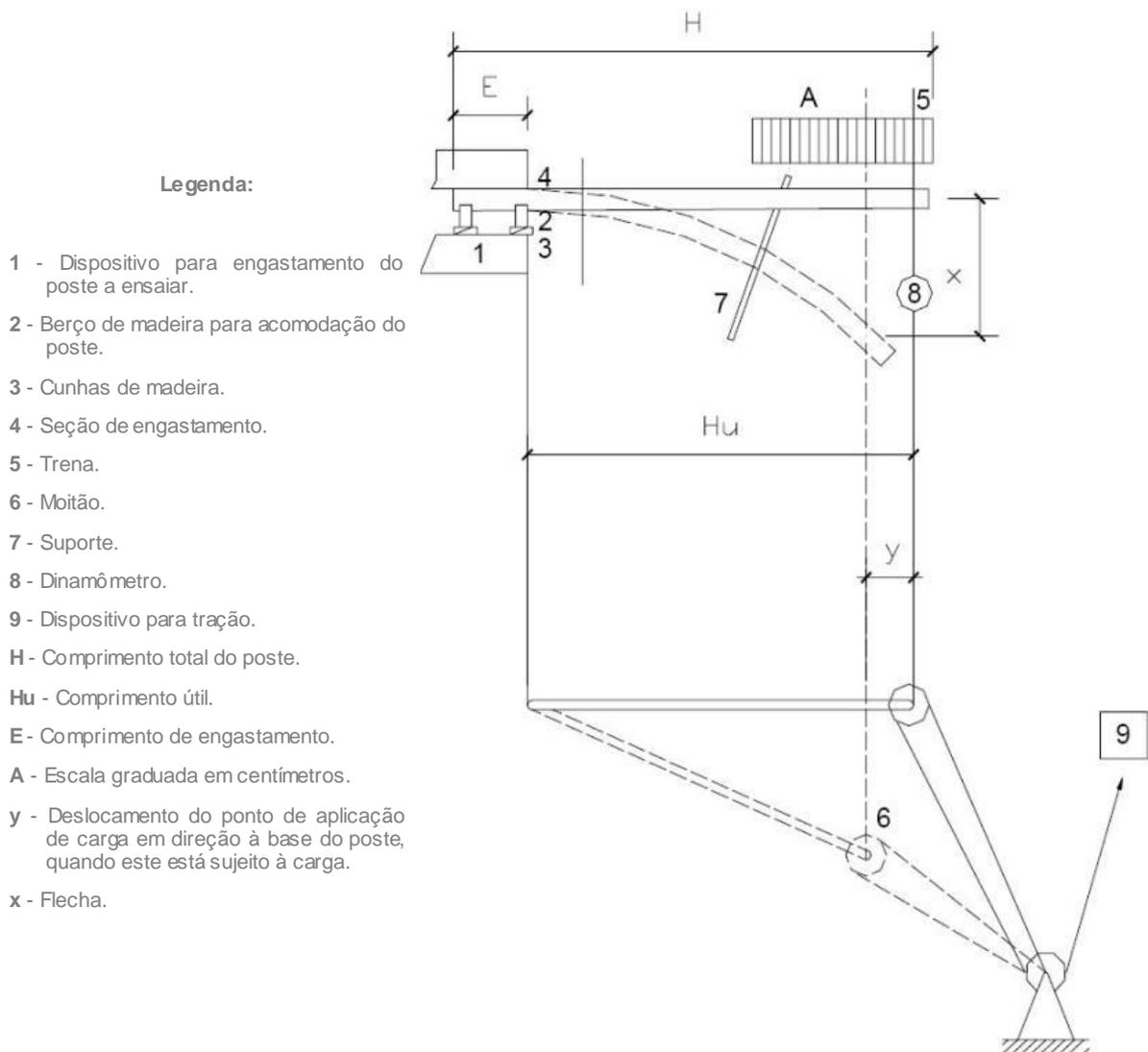


Figura 3.2 Esquema de um dispositivo para testes de flexão dinâmica em postes de madeira segundo NBR 6231 – dez/1980. (Adaptado de Proposta de Revisão das NBRs 8456 e 8457).

Quanto à elasticidade, os postes submetidos a uma força de tração igual à resistência nominal não devem apresentar flechas, no plano de aplicação dos esforços, superior a 5% do comprimento nominal do poste. A carga de ruptura não deve ser inferior a duas vezes a resistência nominal do poste (ABNT, 1984).

No estudo apresentado por ARRUDA et al (2006), foi feito um comparativo entre três espécies de eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*) utilizadas para a fabricação de postes no estado do Rio Grande do Sul. Os resultados apontaram para superioridade do *C. citriodora* quanto a propriedade de resistência à flexão e à compressão paralela as fibras, em relação às outras duas espécies.

3.2. O eucalipto

O termo eucalipto é uma designação usada para muitas espécies do gênero *Eucalyptus*, mas também para espécies pertencentes aos gêneros *Corymbia* e *Angophora*. É nativo da Oceania onde constitui o gênero dominante da flora, contando com cerca de 700 espécies, a maioria originária da Austrália, sendo umas poucas espécies nativas de territórios vizinhos (BUSNARDO et al, 2009). Apesar do grande número de espécies, pouco mais de duas dezenas delas têm importância comercial e são plantadas extensivamente em todo o mundo (REMADE, 2001).

As primeiras mudas de eucalipto que chegaram ao Brasil foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868, ano em que também foram plantados alguns exemplares na Quinta da Boa Vista, no Rio de Janeiro. O plantio do eucalipto em escala comercial data da primeira década do século XX (1904). Inicialmente, foi introduzido como monocultura destinada a suprir a demanda de lenha para combustíveis das locomotivas e dormentes para trilhos da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Além disso, era utilizado para a produção de mourões de cercas e postes margeando a ferrovia, fornecendo ainda o madeiramento para a construção das estações e vilas. Do estado de São Paulo, o plantio de eucalipto se estendeu para todo o centro e sul do país (BANDYOPADHYAY, 2010).

Na década de 1950 passou a ser produzido, como matéria prima, para o abastecimento das fábricas de papel e celulose. Apresenta-se como uma espécie vegetal de rápido crescimento e adaptada para as situações edafobioclimáticas

brasileiras. Atualmente, as áreas plantadas com eucaliptos atingem mais de 3 milhões de hectares e estão distribuídas, em sua maioria, nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo (REMADE, 2008).

Acredita-se que, mesmo com a tendência de aumento das plantações de florestas cultivadas, face às expectativas de crescimento de demanda, haverá uma necessidade de plantio em torno de 630 mil hectares ao ano para suprir a demanda em usos como: celulose, madeira sólida (construção civil, postes, pontes, dormentes, entre outros), carvão vegetal e energia. Com base nesses dados observa-se a importância do eucalipto por possibilitar usos múltiplos, com capacidade de atender a todos os segmentos acima descritos (REMADE, 2008).

O Brasil, em termos climáticos para o cultivo do eucalipto, pode ser dividido em duas regiões: tropical onde as espécies mais indicadas são *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna* e *E. cloeziana* e subtropical, que inclui o estado do Rio Grande do Sul, com indicação das espécies *E. benthamii* (comprovadamente resistente à geada) e *E. dunnii* (resistência parcial a geadas).

Sabe-se que algumas espécies de eucaliptos apresentam maior propensão ao ataque de fungos causadores de patologias que acabam resultando em deterioração da madeira. Em trabalho realizado por FOELKEL et al (1976), foram avaliadas amostras de *E. saligna* e *E. grandis*, cujas espécies vinham apresentando povoamentos, especialmente na região sudeste do Brasil, com crescente incidência de cancro causado pelo fungo *Diaporthe cubensis*. A doença provoca lesões na casca das árvores, expondo o lenho e permitindo a ação de outros agentes causadores de podridão da madeira. O estudo realizado por FERREIRA e MILANI (2004) demonstrou que alguns clones de eucalipto apresentam maior resistência a certos fungos causadores de doenças, o que reforça a idéia de que são necessários cuidados, tanto com a procedência como com os tratamentos silviculturais para se obter madeiras com a qualidade adequada ao fim proposto.

As implicações ambientais dos plantios extensivos de eucalipto permanecem ainda hoje indefinidas. Alguns lhe atribuem os prejuízos do empobrecimento do solo, destruição de matas nativas, esgotamento de água e redução da biodiversidade animal e vegetal. Outros autores consideram o eucalipto como alternativa para evitar a destruição dos remanescentes de matas nativas. Divergências à parte deve-se,

antes de questionar o uso do eucalipto em si, questionar as técnicas utilizadas pelo homem no manejo de seus plantios. Em trabalho realizado em um horto florestal no município de Triunfo - RS, PERELLO (2002) demonstrou que os talhões de eucaliptos apresentavam riqueza de avifauna semelhante a fragmentos de mata nativa da mesma área, especialmente quando estes talhões estavam associados ao sub-bosque.

3.3. O poste de eucalipto

Segundo registros históricos, no Brasil os primeiros postes de linhas telefônicas foram utilizados em 1916, no estado de São Paulo tendo como matéria prima *Eucalyptus longifolia*. A utilização da madeira de eucalipto para este fim teve como causa três fatores principais: disponibilidade da matéria-prima, relativa escassez de outras essências florestais e crescente demanda por postes, devido à expansão do telégrafo, telefone e redes de energia elétrica (GERALDO, 2003).

Em seu artigo, GERALDO (2001) destaca o poste de madeira pelo seu custo competitivo, facilidade de manuseio e de manutenção que fazem dele uma ferramenta com importante papel principalmente na eletrificação rural.

Segundo GERALDO, a madeira preservada ajuda poupar florestas nativas, oferecendo uma alternativa de alta qualidade às madeiras de lei. Além disso, no seu crescimento, o eucalipto retira 1,8 toneladas de dióxido de carbono da atmosfera para cada tonelada de madeira produzida, devolvendo ainda 1,3 toneladas de oxigênio.

Na fabricação de um poste de madeira são consumidas, em média 2.400 kcal de energia, contra 550.000 kcal para um poste de concreto. O poste de madeira pode alcançar uma vida útil que supera 25 anos, além de apresentar alta resistência mecânica e facilidade de manuseio e transporte. Por serem roliços suportam esforços em qualquer direção, enquanto que um poste de concreto "duplo T" só suporta carga em duas direções. Na perpendicular, postes de madeira suportam o dobro da carga suportada pelos similares de concreto. Apenas três postes de madeira cobrem com facilidade distâncias que exigem quatro postes de concreto. Outra propriedade importante da madeira quando utilizada na fabricação de postes é

de que ela é quase seis vezes melhor isolante elétrico que o concreto (GERALDO, 2001).

No estado do Rio Grande do Sul, os postes de madeira de eucalipto vem servindo para apoiar as redes de distribuição de energia elétrica desde o início da sua implementação. A distribuição de energia elétrica no estado, atualmente, encontra-se dividida sob a concessão de três empresas do setor da seguinte forma:

- região sul-sudeste atendida pela CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica;
- região norte-nordeste atendida pela RGE – Rio Grande Energia;
- região centro-oeste atendida pela AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A.

Os postes de madeira utilizados pela AES Sul em sua área de concessão (objeto deste estudo) são todos produzidos a partir de eucaliptos cultivados, cujas espécies indicadas para este fim, conforme a NBR 8456 devem ser: *Eucalyptus alba*, *Corymbia citriodora* (Ex *E. citriodora*), *E. tereticornis*, *E. rostrata*, *E. paniculata*, *E. botryoides*, *E. saligna* e *E. grandis*. Acompanhamentos realizados ao longo dos últimos dez anos junto aos fornecedores de postes da empresa em questão mostraram que as espécies *E. grandis* e *E. saligna* são as mais utilizadas em postes de 9 a 12 m, empregados nas redes de distribuição de média e baixa tensão.

Se consideradas apenas estas oito espécies citadas, além da característica heterogeneidade do material madeira, verifica-se também considerável variabilidade de características e propriedades entre elas. Entre estas variáveis pode-se citar: massa específica aparente, resistência mecânica à flexão, dureza, relação na proporção cerne/alburno, morfologia do tronco, entre outras.

Em seu trabalho, ARRUDA (2006) realizou testes mecânicos em postes de madeira novos encontrando valores médios de resistência à flexão e módulo de elasticidade para três espécies de eucalipto comumente utilizadas na produção de postes (Tabela 3.1). No trabalho, o autor compara os resultados obtidos com dados de referência do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e verifica que, apesar do pequeno número de postes ensaiados, houve certa similaridade entre os resultados.

Tabela 3.1 Dados de literatura referente ao limite de resistência à flexão (δf) e ao Módulo de elasticidade à flexão (Ef) obtidos em testes de flexão em postes de eucalipto.

Espécie	Densidade	δf	Ef	δf	Ef
		(PUCRS)		(IPT)	
<i>Eucalyptus citriodora</i>	alta	1.120	140.730	1.140	136.000
<i>Eucalyptus saligna</i>	media	674	76.640	789	121.100
<i>Eucalyptus grandis</i>	baixa	516	71.450	549	98.800

Dados em kgf/cm². Fonte: Arruda, 2006.

A Tabela 3.2 apresenta uma comparação entre algumas características físicas e mecânicas relacionadas a seis espécies de eucaliptos utilizadas na fabricação de postes. Quanto ao limite de resistência à flexão, propriedade relevante no uso de postes de madeira, verifica-se as espécies *E. rostrata* e *E. alba* com valores entre 1.150 e 1.247 daN/cm² para a madeira a 15% de umidade e *E. paniculata* e *C. citriodora* com valores acima de 1.700 daN/cm² (NBR 8456).

O módulo de elasticidade à flexão é outra propriedade que varia significativamente entre estas espécies, sendo que, para as duas primeiras, os valores ficam entre 101.600 e 131.300 daN/cm², e, para as outras duas, entre 181.900 e 201.800 daN/cm². Cabe salientar que valores elevados de resistência mecânica são importantes em postes de madeira, estruturas que estão constantemente sujeitas à esforços ao longo de sua vida útil.

Conforme SALES et al (2003) devem ser seguidos alguns procedimentos antes do tratamento, após o tratamento e no armazenamento, os quais irão contribuir para a efetiva durabilidade dos postes de madeira: espécie e procedência, idade das árvores, dimensões das peças, presença de defeitos, níveis de retenção e penetração da substância preservativa, resistência mecânica, cuidados no manuseio e uso de placas de identificação que permitam rastreabilidade dos postes.

Tabela 3.2 Propriedades físicas e mecânicas de seis espécies de eucaliptos utilizados na fabricação de postes (NBR 8456, 1984).

Espécie de eucalipto	Características Físicas					Características Mecânicas						
	Massa específica aparente (15% umidade) kg/m ³	Retrabilidade			Coeficiente de Retrabilidade	Limite de Resistência a flexão		Índice de Rigidez (L/f)	Módulo de Elasticidade a Flexão		Cisalhamento (daN/cm ²)	Dureza Janka (daN/cm ²)
		Radial (%)	Tangencial (%)	Volumétrica (%)		Madeira Verde (daN/cm ²)	Madeira a 15% de Umidade		Módulo (daN/cm ²)	Limite de Proporcionalidade (daN/cm ²)		
<i>E. alba</i>	0,83	5,8	12,0	20,4	0,60	968	1247	23	131300	386	126	642
<i>E. botryoides</i>	0,89	6,9	13,1	22,0	0,63	1157	1460	26	154500	472	115	749
	1,09	6,5	9,6	17,8	0,76	1561	1730	32	181900	841	182	1045
<i>C. citriodora</i>	1,04	6,6	9,5	19,4	0,77	1140	1238	36	136000	481	166	341
	0,98	6,9	9,4	18,2	0,78	1500	1673	24	177000	668	149	913
<i>E. paniculata</i>	1,09	7,3	13,6	23,1	0,79	1451	1772	39	201800	716	169	986
	1,06	7,5	14,5	24,6	0,76	1320	1760	24	185000	554	155	890
<i>E. rostrata</i>	0,87	6,8	15,5	25,9	0,48	878	1150	24	101600	389	105	645
<i>E. tereticornis</i>	0,99	7,3	16,7	23,9	0,45	1018	1340	34	120200	509	110	839
	0,95	6,9	13,4	23,0	0,65	1270	1576	17	133200	490	137	689

A determinação de espécies na fabricação de postes tem se mostrado um critério pouco adequado, pois, muitas vezes não há disponibilidade de madeira das espécies pretendidas ou, em outras, são utilizadas espécies que não as relacionadas na norma específica. Em resposta a esta dificuldade, a proposta de revisão das NBRs 8456 e 8457, sugere a utilização de espécies, híbridos ou clones de eucaliptos variados, desde que, observadas características dimensionais, resistência à flexão dinâmica e módulo de elasticidade à flexão estática, no estado verde especificados neste novo texto (Proposta de revisão das NBRs 8456 e 8457).

No documento que está sendo elaborado pela Comissão de Estudos de Preservação de Madeira, com vistas a criação da NBR: *Preservação de Madeira-Sistema de Categoria de Uso*, é indicada a adoção de categorias com base nos prováveis usos. Neste caso, o poste de madeira é enquadrado na categoria de uso nº 5 sendo mantida a retenção mínima de 9,6 kg/m³ de preservativo e impregnação de 100% do alburno e porções permeáveis do cerne, conforme já consta na NBR 8456.

A preocupação com controles que garantam a manutenção dos sistemas de distribuição de energia elétrica se reflete em trabalhos como o realizado por JONES et al (2004), no qual um sistema de câmeras de vídeo-vigilância foi instalado em postes para monitorar eventuais falhas nestas estruturas, bem como nas redes as quais estão ligados.

Os impactos econômicos de danos causados ao sistema de fornecimento de energia elétrica podem ser bastante diversos. Na quantificação desses impactos devem ser levados em conta fatores como a extensão do dano (estruturas afetadas), o número de consumidores afetados, no caso de interrupção no fornecimento, bem como o tempo gasto no restabelecimento do sistema (DATLA, 2005). Em trabalho realizado na Noruega (GUSTAVSEN, 2005), foi feita uma simulação comparando o impacto econômico anual com a substituição de postes devido a danos climáticos e os custos estimados com a gestão de um sistema de inspeção e manutenção preventiva, realizado em intervalos regulares. O trabalho indica uma relação custo/benefício favorável ao controle e manutenção preventiva dos postes, permitindo, desta forma, incremento na construção de novas redes.

3.3.1. Deterioração do poste de madeira

Verifica-se que, embora a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 8456 estabeleça uma vida útil mínima de 15 anos para postes de madeira, ocorre uma variabilidade significativa na sua durabilidade. É comum encontrar postes em bom estado de conservação, mesmo após mais de 20 anos em serviço, ao passo que são encontrados outros com menos de cinco anos em avançado estado de deterioração (VIDOR, 2003).

No processo de deterioração da madeira tratada, como é o caso dos postes de madeira, alguns fungos têm importante papel, como por exemplo, os Basidiomicetos: *Phanerochaete chrysosporium*, *P. sordida*, *Peniophora cinerea*, *Trametes villosa*, *T. hirsuta*, *Psilocybe castanella*, *Phellinus badius*, *Lentinula edodes*, *Inonotus dryophilus*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Bjerkandera sp.* e *Picnoporus sanguineus*, que são organismos com capacidade de degradar substâncias preservativas da madeira como o creosoto e o CCA (BONONI, 1998; CLUBBE, 1980).

WOODWARD (1998) destaca os fungos como os principais agentes biológicos causadores de apodrecimento em postes de madeira.

Um trabalho realizado entre os anos de 2005 e 2006, na área de distribuição de energia da AES Sul (região centro-oeste do RS), buscou identificar se haviam diferenças nos níveis de agressividade e na composição de espécies de fungos xilófagos causadores de apodrecimento em postes de madeira de eucalipto. Foram coletadas amostras de madeira de postes em serviço em 23 municípios distribuídos nas três sub-regiões: metropolitana, centro-vales e fronteira (zoneamento interno da empresa). Foram desenvolvidos meios de cultura de fungos com o material coletado e posteriormente foi feita a identificação dos organismos presentes. Os resultados indicaram relativa homogeneidade na distribuição de fungos dos gêneros *Paecylomyces* e *Penicilium*, os mais frequentemente identificados nas amostras dos postes avaliados (PIRES, 2006).

No trabalho de revisão das NBRs 8456 e 8457 é apresentada uma proposta de zoneamento do território brasileiro quanto ao potencial de ação dos fungos (Figura 3.3). Esta proposta de zoneamento foi construída levando em conta fatores climáticos relativos à temperatura e pluviometria.

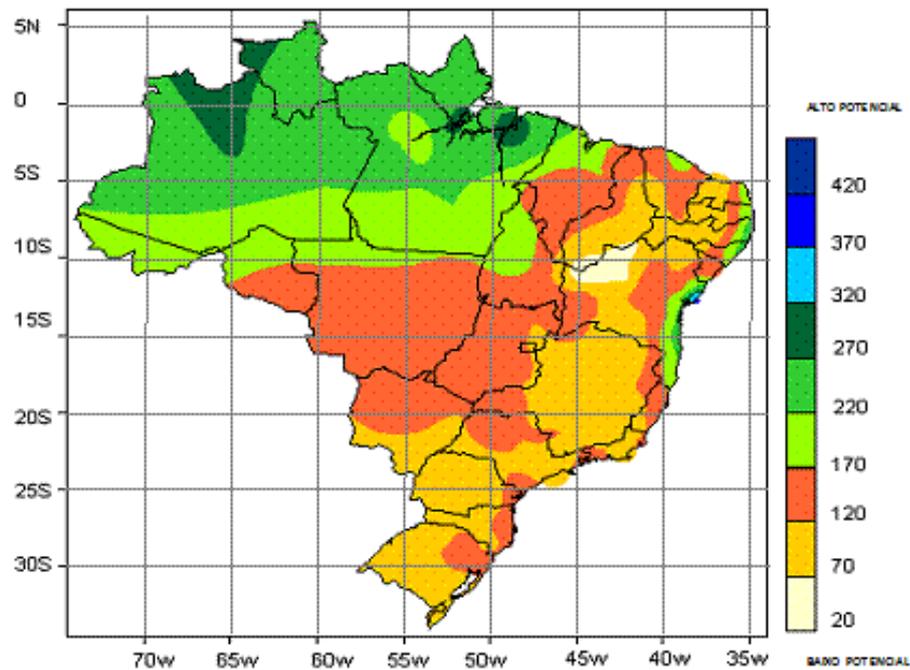


Figura 3.3 Potencial de ataque fúngico no Brasil baseado em dados climatológicos (Adaptado de Preservação de Madeiras – Sistema de Categorias de Uso, NBR em revisão).

Em resposta à questão da deterioração biológica dos postes de madeira, visando aumentar sua resistência, vem sendo utilizados tratamentos preservativos que têm como princípio básico o uso de substâncias tóxicas aos organismos causadores de tais danos. Um exemplo disso é o tratamento sob pressão utilizado nos postes de madeira no Brasil, no qual a camada permeável (alburno) é impregnada com um preservativo a base de óxidos de Cobre, Cromo e Arsênio-CCA, classificado como tipo C em função da proporção entre os seus ingredientes ativos: 47,5% de cromo hexavalente- CrO_3 , 18,5% de cobre- CuO e 34% de arsênio- As_2O_5 (ABNT, 1984).

3.3.2. Tratamento curativo em postes de madeira

Tem sido observado que os postes de madeira após determinado período sofrem o ataque de organismos xilófagos, principalmente na sua linha de afloramento (junto à linha do solo), o que resulta no apodrecimento dessa região, culminando com o comprometimento definitivo do poste (CAPELETTO, 1989).

Uma alternativa buscando aumentar a durabilidade dos postes de madeira é o chamado “tratamento curativo” (retratamento) dos postes, que consiste na utilização de substâncias que visam prevenir ou interromper o processo de biodeterioração da madeira. O processo de tratamento curativo para postes em serviço (retratamento) aparece como alternativa para intervir nesse processo de biodeterioração e consiste na utilização de produtos químicos tóxicos aos agentes deterioradores da madeira, prevenindo a sua ação ou parando-a quando em fase inicial.

O processo de retratamento difere do tratamento preservativo, pois a aplicação dos produtos é feita no poste em serviço e se restringe à chamada faixa crítica de deterioração (desde cerca de 20 cm acima da linha de afloramento do poste até no máximo 50 cm abaixo). Os produtos utilizados também são outros, sendo que atualmente encontra-se em um sólido difusível a base de Boro e Flúor que possui capacidade de impregnar, não só a porção externa do poste, mas também o seu cerne (HORWOOD, 2002 e WOODWARD, 1998).

Até recentemente havia disponível no mercado brasileiro um produto para retratamento de postes de madeira em serviço chamado *Osmocreo*, fabricado pela Montana Química S/A. O produto apresentava ação fungicida e inseticida, de consistência pastosa, composto por duas fases:

- Fase oleosa – contém preservativos oleossolúveis que proporcionam proteção quando a madeira estiver seca;
- Fase sólida – contém preservativos hidrossolúveis em suspensão na fase oleosa para penetração na madeira quando úmida.

O produto era destinado ao tratamento preventivo e curativo da porção externa dos postes em sua zona de afloramento. Após a aplicação do produto na superfície do poste esta era recoberta por uma bandagem composta de papel, betume e plástico, denominada *Bandagem Osmocreo*, com a finalidade de impedir a migração do produto para o solo (Montana, s.d. - b).

Segundo CAPELETTO (1989), a CEEE iniciou em outubro de 1988 um projeto piloto na Gerência Regional de São Leopoldo onde foram inspecionados 1.500 postes dos quais 600 encontravam-se em condições ideais para retratamento.

Em dezembro do mesmo ano o processo de retratamento utilizando o *Osmocreo* teve início. No ano de 1989 o projeto passou por um incremento, aumentando para 1.319 o número de postes retratados até o mês de agosto. Naquele mesmo ano a experiência da Gerência de São Leopoldo foi apresentada à outras 25 Gerências Regionais e com perspectivas de difusão do processo às 31 Gerências Regionais. A expectativa era de que num período de aproximadamente 5 anos fosse efetuado o retratamento de todos os postes das redes de AT do Rio Grande do Sul, que apresentassem condições para tal.

Em inspeções realizadas nos postes em serviços nas redes de distribuição dos municípios de Canoas e Montenegro (2001-2010) foram encontrados postes retratados com *Osmocreo* e identificados com placas que sugerem que o processo foi realizado em 1992. Eram peças em bom estado de conservação, porém, devido à falta de registros e acompanhamentos não foi possível determinar se o estado de conservação estava relacionado com o retratamento.

Outra alternativa, disponível atualmente no mercado brasileiro para retratamento de postes de madeira em serviço são os produtos à base de Boro e Flúor, fabricados pela empresa Australiana Preschem, destinados ao tratamento interno e externo dos postes.

Esta empresa vem realizando testes com estes produtos em países, como Austrália e África do Sul, tradicionais usuários de postes de madeira. Estes testes têm por objetivo avaliar o processo de difusão do produto na madeira e determinar a taxa residual de ingredientes ativos (Boro e Flúor), após a aplicação do produto (PRESCHEM, 2003).

Os testes são realizados em ciclos de até dez anos, onde a concentração de Boro na madeira é determinada por meio de um indicador colorimétrico que acusa a difusão do elemento. Desta forma, pode ser constatado se foi alcançada a marca dos 300 mg/kg estabelecida como ideal para uma boa toxicidade fúngica. A determinação de concentração é realizada apenas para o Boro, pois a difusão para o Flúor se dá de forma semelhante (COOKSON, 1990).

3.4. Inspeção de postes em serviço

Manter em boas condições de operação toda a estrutura que envolve a distribuição de energia elétrica (redes, equipamentos, postes, etc.) é fator preponderante para uma concessionária de energia, não só pela manutenção da rentabilidade do negócio como também pelo compromisso com seus clientes.

No que se refere à distribuição de energia, é comum entre as concessionárias estabelecer programas de manutenção e controle preventivos de suas estruturas. Porém, algumas vezes, estes controles não são feitos de forma sistemática e generalizada, o que por vezes acaba contribuindo na ocorrência de falhas inesperadas que, por sua vez, resultam em interrupções no fornecimento de energia.

Conforme detalha a norma americana OSHA – 1910-269 App D, a inspeção em um poste de madeira é uma questão de segurança de trabalho, pois ao ser escalado, o poste sofre um esforço adicional com o peso do funcionário que executa o trabalho. O peso de equipamentos instalados e outras tensões de funcionamento (remoção ou retensionamento de condutores) podem resultar na queda de um poste danificado, ou que não esteja projetado para estas exigências de tensões (OSHA, 2003).

A norma militar americana que trata da manutenção de postes de madeira (MORRELL, 1996) condiciona o tipo de inspeção e manutenção dos postes a fatores como o tipo de madeira utilizada, tratamento químico e condições climáticas às quais os postes estão expostos. Postes instalados em regiões mais frias e secas requerem inspeções menos frequentes do que aqueles em regiões com clima subtropical, como o encontrado na Flórida, onde o apodrecimento geralmente ocorre internamente ou ligeiramente abaixo da linha do solo. Ao contrário, nos postes instalados em regiões mais secas, o apodrecimento geralmente ocorre nas porções mais profundas em relação à linha do solo.

Em face da importância que a questão climática apresenta na conservação e nos ataques biológicos a que os postes de madeira estão sujeitos, esta norma baseia-se na classificação da “Rural Electrification Administration - REA”. Neste caso os Estados Unidos são divididos em cinco regiões quanto ao grau de agressividade

aos postes de madeira: uma região com baixo nível de agressividade, outras duas com nível médio, uma de nível alto e uma onde este é considerado severo, na qual se encontra o estado da Flórida (MORRELL, 1996).

A CPFL Energia, concessionária do setor elétrico do estado de São Paulo, em sua Orientação Técnica nº 766 estabelece critérios para a inspeção e a manutenção de postes de madeira. Segundo este documento, que enfoca apenas a manutenção externa dos postes, as inspeções devem ser iniciadas a partir das subestações, percorrendo-se todos os postes até o final de cada alimentador. Devem ser priorizados os alimentadores mais antigos. Todos os postes que não possuam identificação ou que estejam em serviço há mais de oito anos devem ser retratados, repetindo-se o procedimento em ciclos de igual período. Nas regiões identificadas como agressivas quanto ao ataque de cupins, este processo deve ser reduzido para intervalos de dois anos (CPFL, 2001).

No estado do Rio Grande do Sul, a Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE apresenta-se como a pioneira nos trabalhos de inspeção e cadastro de postes de madeira em serviço. Segundo CAPELETTO (1989), a CEEE iniciou em outubro de 1988 um projeto piloto na Gerência Regional de São Leopoldo onde foram inspecionados 1.500 postes. Mais recentemente, entre 2001 e 2002 foi realizado um trabalho pela empresa *Geolinks* - Geologia e Engenharia, onde foram inspecionados e cadastrados cerca de 130 mil postes de AT e BT nas redes dessa concessionária. Este trabalho gerou um banco de dados que inclui informações sobre as redes de Baixa e Alta Tensão, localização (endereçamento) e estado do poste (sadio ou não), clientes e usuários das redes em questão, arborização, coordenadas geográficas e altimetria geodésica.

Em trabalhos realizados pela PUCRS (VIDOR & PIRES et al, 2008), em parceria com a AES Sul no período compreendido entre os anos de 2000 e 2006, foram inspecionados e retratados postes em municípios da região centro-oeste do Rio Grande do Sul (área de concessão da AES Sul). Em função da abrangência desses estudos, os mesmos serão detalhados no item a seguir.

3.4.1. Trabalhos já realizados na área de estudo

O trabalho foi realizado em duas fases, sendo que na fase 1 foi realizado um trabalho piloto nos municípios de Canoas e Montenegro e na fase 2 o trabalho se estendeu para mais 21 municípios do estado distribuídos nas cinco regiões em que a área de concessão da empresa era dividida na época: Centro, Fronteira Norte, Fronteira Sul, Metropolitana e Vales. Ao todo foram inspecionados 10.692 postes, sendo 503 na fase 1 e 10.189 na fase 2. Segundo dados da ANEEL (2009), são mais de 709 mil postes em serviço nas redes da AES Sul, dos quais, conforme os dados obtidos na fase 2 (2004-2006), cerca de 90% eram de madeira e os restantes de concreto. Durante o trabalho foi observado um significativo número de postes sem placa de identificação. Cabe salientar que é da placa de identificação que são obtidos dados referentes a origem do poste (fabricante), seu tempo em serviço (data de fabricação), preservativo usado no tratamento (CCA ou creosoto), entre outras.

Nos dois municípios onde foi desenvolvida a fase 1, o percentual de postes sem placa de identificação foi significativo: 67% em Canoas e 54 % em Montenegro. Nos municípios onde foi desenvolvida a fase 2, o percentual de postes sem placa de identificação foi de 57% em média. Analisando-se estes municípios individualmente, nota-se uma grande variabilidade no número de postes não identificados. Pode-se observar municípios com mais de 60% dos postes com placa de identificação, como no caso de Estância Velha e outros onde menos de 20% dos postes possuíam a referida placa, caso de Rio Pardo.

A determinação do tempo em serviço de um poste, atualmente só é possível com as informações contidas nas placas de identificação. Considerando-se que mais de 50% dos postes em serviço não possuem placa esta avaliação fica restrita a um número reduzido de postes.

Na Figura 3.4 pode-se observar o perfil de idade dos postes inspecionados por município na fase 2, agrupadas em intervalos de cinco anos, onde foi verificada significativa variabilidade entre municípios. Santana do Livramento foi o que apresentou o maior número de postes com idade de até 5 anos (41%) e Lajeado com o maior número de postes com idade superior a 15 anos (32%).

Estes dados se assemelham aos obtidos na fase 1 e se justificam por diferentes formas de aplicação dos recursos destinados a substituição de postes

entre uma unidade e outra já que as regionais da empresas possuem autonomia na destinação e aplicação dos recursos. Deste fato resulta a ocorrência de municípios em que a idade média dos postes difere bastante de outros.

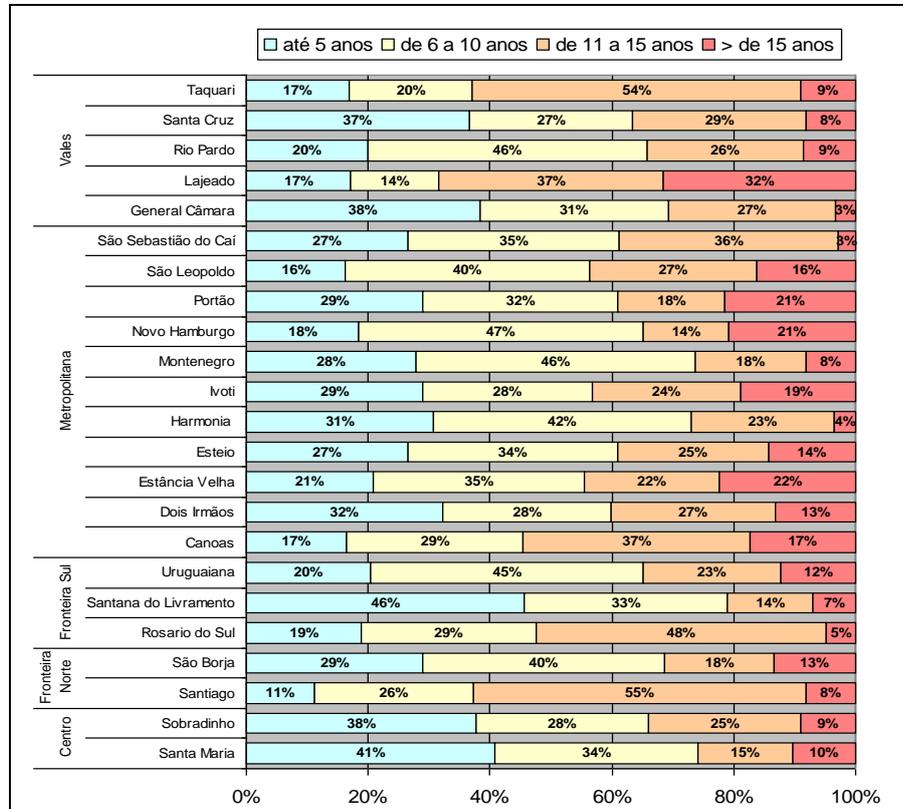


Figura 3.4 Idade dos postes em serviço, conforme placas de identificação (fase 2).

Quanto ao seu estado de conservação, os postes em serviço foram classificados conforme os critérios descritos na Tabela 3.3, metodologia que foi novamente utilizada quando da reinspeção dos postes na fase 3 do projeto.

Tabela 3.3 Parâmetros de classificação dos postes de madeira em serviço.

Classe	Cerne do poste	Alburno do poste	Recomendação
1	>100 mm de madeira sadia	Sem deterioração	Sem intervenção
2	Entre 70 -100 mm de madeira sadia	< 10 mm de madeira deteriorada	Retratar externamente e/ou tratar internamente
3	Entre 30-70 mm de madeira sadia	< 20 mm de madeira deteriorada	Monitorar
4	< 30 mm de madeira sadia	> 20 mm de madeira deteriorada	Substituição urgente

Na fase 1 foi constatado que cerca de 90% dos postes encontravam-se entre as classes 1, 2 e 3 e que portanto apresentavam condições de permanecer em serviço. Para os cerca de 10% restantes classificados como classe 4 foi recomendado e sua imediata substituição. Foi também sugerido que, aqueles postes que apresentassem condições de passar por tratamento interno e retratamento externo (cerca de 46%) tal procedimento fosse acompanhado de um programa de controle e manutenção dos mesmos.

Na fase 2, do total de 9.246 postes de madeira, 48% foram classificados como 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, assim como na primeira fase são recomendados para substituição imediata por não atenderem as condições de segurança (Figura 3.5).

Os municípios com menor incidência de postes classe 4 foram Santana do Livramento (5%) e Rosário do Sul (7%), ambos na região da Fronteira. Este é um dado positivo, pois a região se caracteriza pela extensa área rural, com incidência de ventos fortes e longas redes de distribuição em média tensão.

Por outro lado, a região metropolitana se caracterizou por uma grande variação no estado de conservação dos postes entre municípios. Os municípios de Novo Hamburgo e Dois Irmãos apresentaram baixa ocorrência de postes classe 4 (7%) enquanto São Sebastião do Caí e Esteio apresentaram 19% e 18%, respectivamente. Este é um dado que deve servir de alerta, uma vez se trata de localidades com alta densidade demográfica e intensa atividade industrial.

Na região central foi verificado que, apesar dos percentuais elevados de postes classe 4 (11% – 14%), também foram elevados os percentuais de postes classe 1 (56% – 68%). A região dos vales apresentou elevados percentuais de postes classe 4, incluindo o município de Lajeado, que apresenta a mais alta taxa de postes indicados para substituição (20%). Além deste fato, cabe ressaltar que esta região apresentou a menor proporção de postes classe 1, comparada às demais regiões.

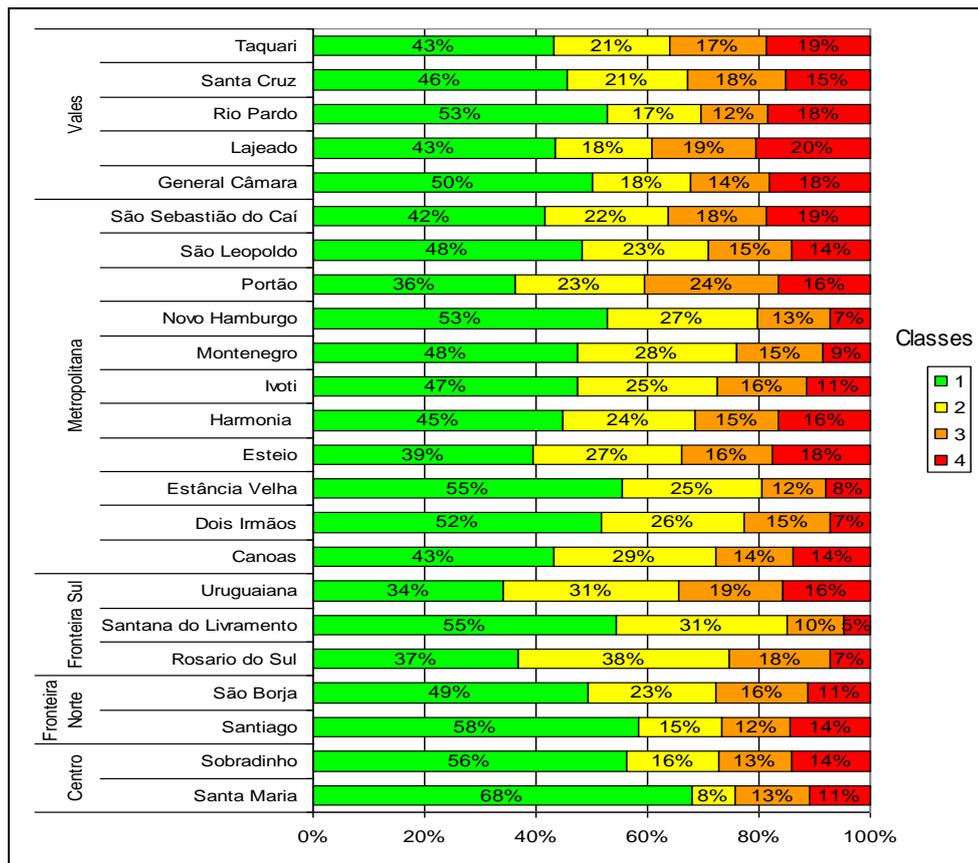


Figura 3.5 Classificação dos postes em função do estado de conservação (fase 2).

Com relação à durabilidade dos postes em serviço, a norma Brasileira prevê um período mínimo de 15 anos para um poste de madeira. Esta durabilidade está relacionada a vários fatores tais como: qualidade da matéria prima (madeira) e do processo produtivo, condições ambientais a que o poste é submetido, manutenção preventiva, etc.

A determinação da durabilidade de um poste em serviço está relacionada diretamente a eficácia de um sistema de identificação que garanta informações como sua data de fabricação. Como já citado, mais de metade dos postes inspecionados não possui placa de identificação.

Dentre os postes identificados, apenas 500 eram postes com mais de 15 anos. 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 (classes 1 e 2), o restante cerca de 9% estão em estado avançado de deterioração (classe 3) e 5% são postes a serem substituídos (classe 4).

Considerando os postes classe 4 com menos de 15 anos, apesar do pequeno número (159), cabe avaliar que, a maioria destes postes está concentrada na região metropolitana, nos municípios de São Leopoldo (20), São Sebastião do Caí (14) e Canoas (13). Outro dado relevante foi a presença de postes com menos de 5 anos (3) e de 10 anos (42) neste universo, e todos tratados com preservativo CCA.

Comparando-se o estado de conservação dos postes com mais de 15 anos de serviço, o preservativo creosoto demonstrou maior eficiência com uma maior porcentagem nas classes 1 e 2, além de um menor número de postes classe 4, quando comparado aos postes de mesma idade, porém preservados com CCA (Figura 3.6). Este maior poder de preservação do creosoto pode ser associado à sua elevada toxicidade, o que lhe confere uma melhor ação preservativa. Na Figura 3.6 só é possível a comparação entre os dois preservativos nos postes com mais de 11 anos pois nos últimos dois anos o creosoto já não era mais utilizado.

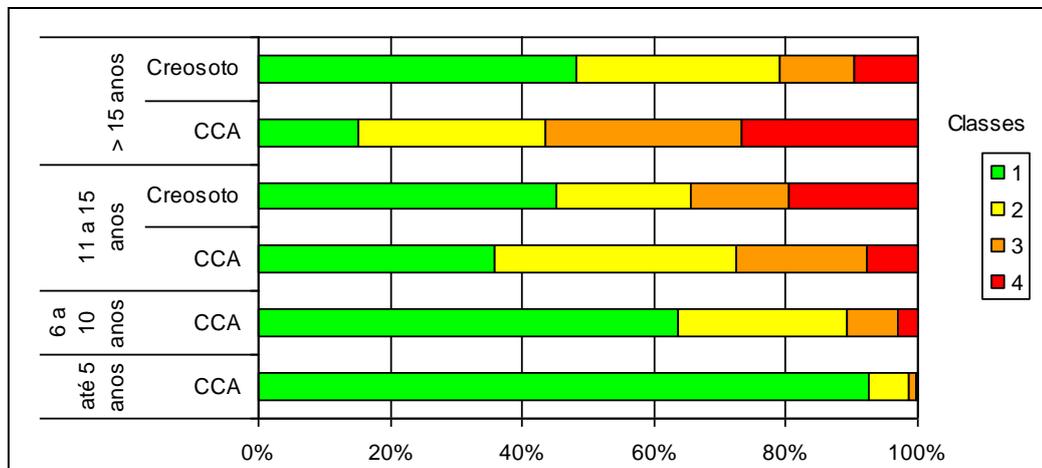


Figura 3.6 Relação entre o preservativo, tempo de serviço e a classificação dos postes em serviço (fase 2).

Embora os dados apresentados forneçam resultados sobre o estado dos postes em determinado momento, carecem informações sobre como vem se dando o avanço do processo de deterioração e sua perda de resistência mecânica ao longo da sua utilização nas redes de energia elétrica. O trabalho em questão se propõe ao estudo destes aspectos e desta forma contribuir no preenchimento destas lacunas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Postes novos

Com vistas a conhecer as características dos postes de madeira adquiridos e colocados em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica, na área do estudo, foram realizadas algumas inspeções no processo de produção de dois fornecedores, identificados como fabricantes A e B.

O sistema de controle utilizado nos fabricantes A e B segue o estabelecido nas NBRs 5426 e 8456. Durante a produção dos postes foram avaliados os seguintes aspectos:

- As florestas de eucalipto, enfocando aspectos referentes à colheita da madeira, preparação (beneficiamento), armazenamento e transporte para a unidade de preservação;
- As usinas de preservação de madeira com foco no armazenamento, preparação da madeira *in natura*, tratamento preservativo e destinação do produto acabado. Neste setor, foram também realizados testes mecânicos nos postes tratados para avaliar sua resistência à flexão, juntamente com a coleta de amostras de madeira tratada para a realização de testes químicos de retenção e penetração da solução preservativa.

4.1.1. Florestas de eucalipto

Foram realizadas cinco visitas técnicas em dez hortos florestais de produção de eucalipto nos quais os fabricantes A e B realizavam extração de madeira para postes (Figuras 4.1 a 4.4). Os hortos visitados estão localizados nos municípios de Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul e Pântano Grande (fabricante A) e Barra do Ribeiro e Arroio dos Ratos (fabricante B).

Nas avaliações feitas nas florestas foram observadas as espécies de eucalipto que estavam sendo colhidas para verificar se estava sendo atendido o que determina a NBR 8456 (Postes de Eucalipto Preservado para Redes de Distribuição de Energia Elétrica) quanto a este aspecto. Com vistas a verificar o cumprimento a esta norma, também foi verificada a idade dos talhões em processo de extração de postes (mínimo de oito anos conforme norma). Foram ainda avaliados itens referentes ao processo como: mecanização da colheita, armazenamento dos postes, descascamento, potencial produtivo de cada floresta e transporte. Em resumo, um panorama geral sobre a qualidade da matéria prima e do processo empregados na produção dos postes.

As informações referentes à idade e espécies das árvores cortadas foram obtidas dos cadastros fornecidos pelo fabricante de postes. Os demais dados foram obtidos das observações feitas diretamente na floresta.



Figura 4.1 Talhão de *E. grandis* para colheita de postes em Cachoeira do Sul.



Figura 4.2 Corte mecanizado empregado em floresta de Caçapava do Sul.



Figura 4.3 Descascamento dos postes feito na floresta em Caçapava do Sul.



Figura 4.4 Postes armazenados a sombra na floresta em Pântano Grande.

4.1.2. Usina de preservação de madeira

Os experimentos e testes realizados nas duas usinas de preservação de madeira pertencentes aos fabricantes A e B, foram feitos em postes de madeira *in natura* (anterior ao tratamento) e em postes já tratados. Como critérios de amostragens foram seguidos os especificados na NBR 5426 - Planos de Amostragens e Procedimentos na Inspeção por Atributos (ABNT, 1985). Os itens avaliados foram:

- Medidas de diâmetros da base e topo dos postes;
- Proporção cerne/alburno (mínimo de 2 cm de alburno conforme NBR 8456);
- Verificação de sinais de apodrecimento em toda extensão do poste (Figura 4.5);
- Presença de fendilhamentos ou rachaduras (Figura 4.6);
- Medidas de umidade na madeira em postes prontos para tratamento (Figura 4.7);
- Aferição do processo de armazenamento para secagem (estaleiramento);
- Processo de preparação envolvendo descasque, acabamento, colocação de placas de identificação e amarração do topo com arame(Figura 4.8);
- Avaliação do processo de tratamento envolvendo diluição do preservativo CCA-C, tempo de tratamento e etapas do tratamento (Figura 4.9);
- Realização de testes destrutivos de flexão (Figura 4.10).



Figura 4.5 Apodrecimento do cerne.



Figura 4.6 Rachaduras na base.



Figura 4.7 Controle de umidade em postes.



Figura 4.8 Preparação dos postes.



Figura 4.9 Tratamento dos postes em autoclave.



Figura 4.10 Poste sendo flexionado para avaliação de resistência mecânica.

A solução preservativa utilizada no tratamento dos postes é o CCA tipo C, o qual segundo a NBR 8456 deve ter a seguinte composição: 47,5% de cromo hexavalente (CrO_3), 18,5% de cobre (CuO) e 34,9% de arsênio (As_2O_5). Segundo esta Norma Técnica a solução preservativa deve utilizar produtos com pureza acima de 95%, base anidra, sendo aceita uma variação de até 1/20 para mais ou menos.

As análises sobre concentração dos elementos químicos no produto preservativo, bem como do balanceamento da solução (diluição em água) foi feita em amostras coletadas nos fabricantes (Figuras 4.11 e 4.12), realizadas no Laboratório de Química Analítica e Ambiental da PUCRS. Para as análises foi seguida a metodologia especificada na NBR 6232 - Penetração e Retenção de Preservativo em Postes de Madeira (ABNT, 1973).



Figura 4.11 Coleta de CCA-C para análise (Fabricante B).



Figura 4.12 Amostra de CCA-C coletada para análise de diluição (Fabricante A).

Foram também coletadas amostras de madeira tratada na forma de tarugos cilíndricos com 13 x 40 mm para analisar no mesmo laboratório a penetração e retenção do preservativo na madeira (Figuras 4.13 e 4.14).



Figura 4.13 Coleta de amostra de madeira.



Figura 4.14 Amostras de madeira (tarugos).

4.2. Inspeções dos postes em serviço

As inspeções foram programadas a partir de informações obtidas em uma base de dados construída a partir dos resultados das inspeções realizadas nas fases 1 e 2 do projeto de pesquisa ao qual este estudo está vinculado. Nas fases 1 e 2 foram inspecionados postes em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica

de 23 municípios da região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 4.15).

Foram então programadas reinspeções em 9 245 postes localizados em 20 dos municípios integrantes da base de dados, sendo que nos municípios de Canoas e Montenegro os postes passaram por duas campanhas de reinspeções, o que resultou num total de 10.605 inspeções (Quadro 4.1 e Figura 4.15).

Quadro 4.1 Postes programados para reinspeções em cada município.

Região	Município	Postes de madeira		Postes de concreto	Total de postes inspecionados
		Zona rural	Zona urbana	Zona urbana	
Fronteira	Rosário do Sul	150	338	8	496
	São Borja	201	206	1	408
	Santana do Livramento	195	313	23	531
Total Região Fronteira		546	857	32	1.435
Metropolitana	Canoas		442	40	482
	Canoas - Fase 1		306	10	316
	Dois Irmãos	133	399	61	593
	Esteio		451	61	512
	Hamonia		194	16	210
	Ivoti		458	39	497
	Montenegro		372	68	440
	Montenegro – Fase 1	20	167	0	187
	Novo Hamburgo		358	103	461
	Portão		468	42	510
	São Leopoldo		683	23	706
	São Sebastião do Cai		257	88	345
	Estância Velha		439	31	470
Total Região Metropolitana		153	4.994	582	5.729
Centro/Vales	General Câmara		198	12	210
	Lajeado		279	21	300
	Rio Pardo		191	19	210
	Santa Cruz		398	127	525
	Santa Maria	101	389	46	536
	Taquari		289	11	300
Total Região Centro/Vales		101	1.744	236	2.081
Total Geral		800	7.595	850	9.245

Para cada um dos municípios os postes foram classificados segundo sua localização na zona urbana ou rural, sendo que os da zona urbana foram identificados pelo número do circuito de BT (Baixa Tensão) do qual fazem parte, e na zona rural, pelo número do alimentador de AT (Alta Tensão).

Com as informações obtidas na base de dados foram geradas as planilhas de campo (Anexos 6 e 7) utilizadas na localização dos postes e apontamento de dados gerados em campo.

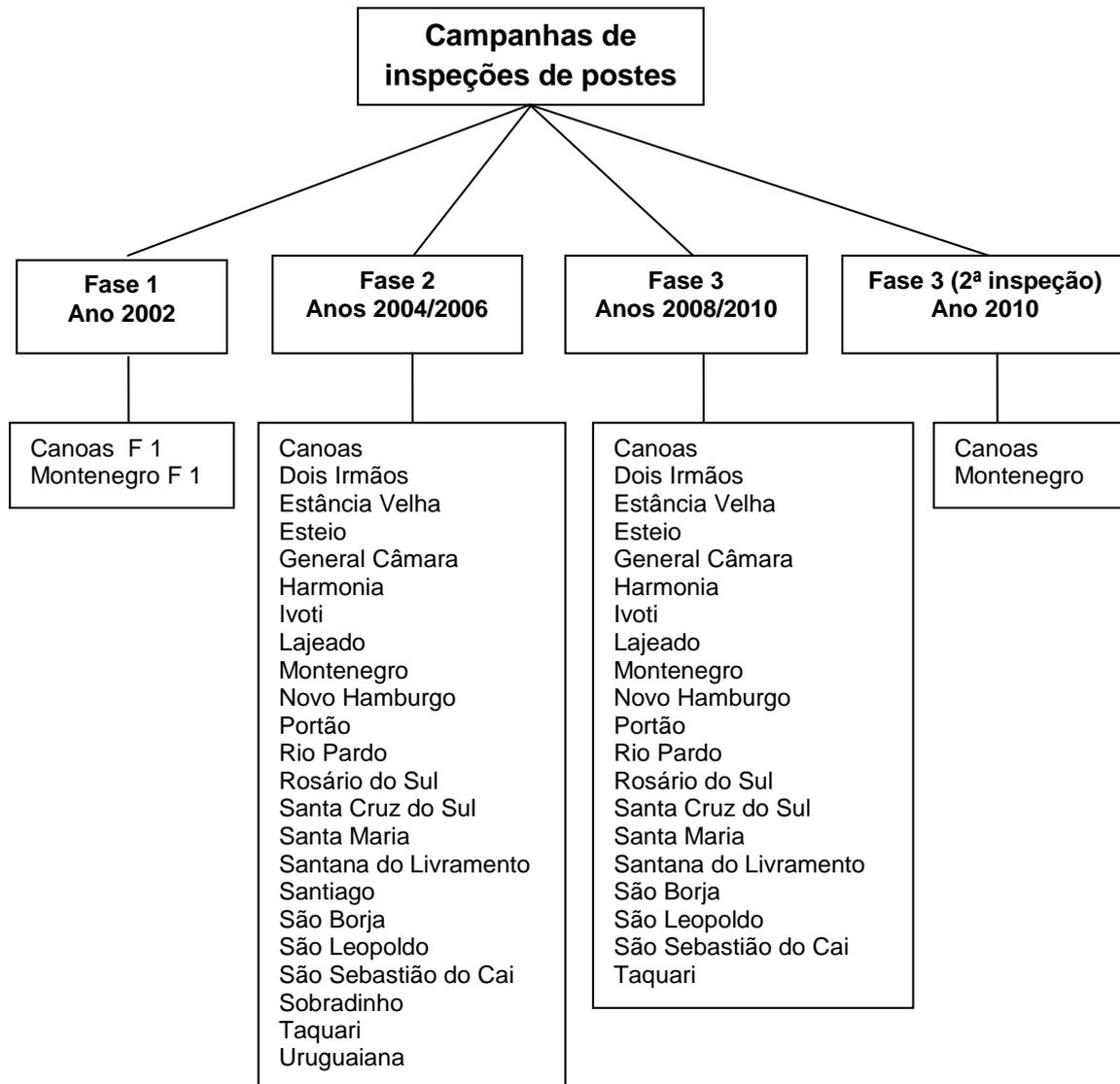


Figura 4.15 Fluxograma de inspeções e reinspeções.

A localização de cada poste foi realizada com base nos endereços já apontados nas inspeções anteriores e pelas coordenadas geográficas métricas UTM - Projeção Transversal Universal de Mercator.

Para a localização das coordenadas foram utilizados GPS (Global Positioning Systems) compactos, marca Garmin, modelos *eTrex* e 76 MAP. Também foram utilizados na localização dos postes, pontos de referência constantes na planilha de campo e apontados nas inspeções anteriores.

As inspeções foram realizadas observando os seguintes passos:

1. Avaliação visual da porção aérea do poste a fim de verificar eventuais defeitos como: rachaduras, buracos, pontos queimados ou apodrecidos, etc... (Figura 4.16);



Figura 4.16 Inspeção externa do poste.

2. Percussão do poste com marreta, desde a linha de afloramento até cerca de 1,5 metros acima para verificar, por variações sonoras, eventuais regiões com ocos internos (Figura 4.17);



Figura 4.17 Inspeção do poste por percussão.

3. Nos casos em que era identificado algum ponto oco fazia-se perfuração com broca \varnothing 12 mm em ângulo de 90° para determinar, com a escala graduada, a espessura da madeira sadia restante e desta forma auxiliar na classificação do poste, conforme especificado na Tabela 3.14;
4. Escavação em torno da base do poste numa faixa de cerca de 30 cm até a profundidade de 50 cm. Limpeza de toda a superfície exposta do poste com espátula ou escova de aço, removendo toda a madeira em processo de

deterioração. Medição do diâmetro do poste 10 cm abaixo da linha de afloramento (D1) e 10 cm acima desta linha (D2) e pela diferença é calculado o apodrecimento externo (Equação 1), classificando o poste conforme Tabela 3.4 (Figuras 4.18 A e B). O diâmetro é calculado pela equação 2.

$$\text{Eq. (1): } \textit{Madeira Sadia} = D2 - D1$$

$$\text{Eq. (2): } \textit{Diâmetro (D)} = \frac{\textit{circunferência}}{\pi (3,14)}$$



Figura 4.18 (A e B). Escavação na base do poste e medição dos diâmetros 1 e 2.

5. Perfuração do poste na linha de afloramento com broca \varnothing 12 mm em ângulo de 90° para determinar, com a escala graduada a espessura da madeira sadia restante, classificando-o conforme Tabela 3.4 (Figura 4.19);



Figura 4.19 Perfuração para inspeção interna.

6. Introdução de um bastonete de preservativo a base de boro/flúor no furo de inspeção e tampar o furo com tampão de PVC (Figura 4.20 A e B);



Figura 4.20 (A e B) Colocação de bastonete de preservativo e tampão de PVC.

7. Fechamento da cava de inspeção aberta para o procedimento, tendo o cuidado de compactar bem o solo. Nos casos onde foi necessária a quebra de calçada o conserto foi programado para ser realizado posteriormente (Figura 4.21).



Figura 4.21 Fechamento da cava de inspeção e retratamento.

4.3. Retratamento de postes de madeira

Os retratamentos de postes de madeira foram realizados em dois tipos de estruturas: postes de madeira em serviço nas redes e em mourões de madeira

localizados em duas áreas de testes controlados. Uma das áreas de testes localizada no município de Triunfo-RS (Figura 4.22) e a outra no setor técnico da AES Sul, na Unidade de Canoas-RS (Figura 4.23).



Figura 4.22 Área de teste de retratamento em Triunfo-RS.



Figura 4.23 Área de teste de retratamento em Canoas-RS.

Nos postes de madeira em serviço foram selecionados os pertencentes a classe 2, nos quais, assim como nas áreas de testes, foram utilizados os bastonetes de nome comercial *Polesaver Rods* para tratamento interno (cerne) e, para retratamento da porção externa (alburno), a bandagem chamada *Bioguard*, ambos de fabricação australiana.

Em ambos os produtos os constituintes ativos são Boro e Flúor em concentrações de 124 g.kg^{-1} e 110 g.kg^{-1} , respectivamente. Possuem solubilidade de 9,5% (a 20°C) e pH igual a 7,6 (em 10% de concentração), não sendo corrosivo a metais e plásticos.

No contato com a umidade interna do poste este produto dissolve vagarosamente, liberando seus componentes ativos, fazendo a impregnação da madeira (cerne e/ou alburno).

Para a aplicação da bandagem é feita a remoção do solo ao redor do poste numa profundidade de aproximadamente 30 cm com limpeza da área que terá contato com o produto; corte da bandagem de acordo com a circunferência do poste; fixação ao redor do poste por meio de fita adesiva (Figura 4.24), tomando-se cuidado para que a sua porção superior fique na linha de engastamento e finalmente recolocação do solo removido compactando-o bem.

Para a aplicação dos bastonetes são abertos três furos em ângulo de 45° , cerca de 10 cm acima da linha de engastamento, onde são introduzidos dois

bastonetes por furo e fechamento dos mesmos com tampões de plástico (Figura 4.25). Esses tampões podem ser retirados e fixados novamente caso sejam feitas novas aplicações.



Figura 4.24 Retratamento externo com bandagem.



Figura 4.25 Tratamento interno com bastonetes.

Para a verificação da eficácia no processo de difusão dos produtos foram feitas análises colorimétricas (Boro) e instrumentais (Boro e Flúor) de amostras retiradas das áreas de testes controladas, seguindo metodologia padrão indicada pelo fabricante dos preservantes e a norma australiana AS1605.

4.4. Seleção e coleta de postes para testes de resistência mecânica

A seleção dos postes a ser coletados para os testes de resistência mecânica foi baseada na sua classificação e foi assim distribuída: de um total de 500 postes selecionados 250 (50%) pertenciam a classe 4 e os outros 250 foram assim distribuídos: 84 (16,8%) postes classe 3, 83 (16,6%) classe 2 e 83 (16,6%) classe 1. Foram escolhidos postes tratados com CCA (tratamento hidrossolúvel) e Creosoto (tratamento oleossolúvel não mais utilizado em postes), além de postes que já tenham sido retratados, tanto com *Osmocréo* (também não mais utilizado), como com os preservativos a base de boro/flúor.

Foi também utilizado como critério de seleção a priorização de postes usados nas redes de BT (comprimento de 9 m), devido a maior facilidade na sua substituição em relação aos utilizados nas redes de média tensão (10 e 11 m). As substituições de postes nas redes de média tensão envolvem desligamentos de

maiores extensões de rede, o que acaba tornando o processo mais complexo. Uma alternativa a estes desligamentos são as substituições realizadas por equipes de Linha Viva, porém, trata-se de um processo altamente especializado e oneroso.

Os postes selecionados para coleta receberam uma identificação feita com tinta esmalte vermelha com a indicação “PROJ AES PUC” além da sua numeração de controle da base de dados (Figuras 4.26 A e B). O objetivo desta identificação foi facilitar a sua localização pelas equipes de manutenção da AES Sul no momento da retirada destes postes. Depois de retirados das redes, os postes foram armazenados separadamente nas unidades técnicas da empresa para posterior envio ao Campus da PUCRS Viamão, local onde foi instalado o campo de testes utilizado nos ensaios de flexão. Após a realização dos testes, os postes foram encaminhados a uma empresa contratada pela AES Sul para a destinação final destes resíduos.



Figura 4.26 (A e B) Postes identificados para coleta e realização de testes.

4.5. Testes de resistência mecânica

Os testes de flexão, realizados nos postes de madeira são do tipo engastado e trata-se de um ensaio destrutivo que consiste no carregamento de um corpo de prova engastado submetido a um momento fletor, sendo medida durante a sua

execução a força aplicada e a deflexão da barra (Arruda, 2006). Neste estudo os testes são realizados em postes retirados das redes (já usados), em diferentes estados de conservação e para os quais não existem normatização nem histórico de trabalho semelhante. Na falta de norma específica para postes usados, foi seguida a metodologia e os parâmetros descritos nas NBRs 6231 (Postes de Madeira – Resistência a Flexão) e 8456 (Postes de Eucalipto Preservados para Redes de Distribuição de Energia Elétrica) que se referem a postes novos.

O teste de flexão é iniciado com o poste perfeitamente engastado no equipamento e fixo de forma a não executar qualquer movimento neste ponto no momento da flexão. O comprimento do engastamento deve variar conforme o comprimento do poste, sendo calculado pela equação 3:

$$\text{Eq. (3): } E = 0,1 \times H + 0,6 \text{ m}$$

Onde:

E = comprimento do engastamento em metros

H = comprimento nominal do poste em metros

A carga é aplicada continuamente a 30 cm do topo do poste, até que ocorra sua ruptura, de tal forma que a sua velocidade de deformação seja constante e igual ao valor dado pela equação 4:

$$\text{Eq. (4): } V = \frac{K \times h_u}{C}$$

Onde:

V = velocidade de deformação em cm/min

h_u = braço de alavanca em cm

C = circunferência na seção de engastamento em cm

K = constante 0,00146

São medidas as flechas “X” e “Y”, sendo “X” representada pelo deslocamento do ponto de aplicação da carga em direção ao esforço (ponto de tração) e “Y” do ponto de aplicação da carga em direção a base do poste (área engastada) em consequência da deformação do mesmo.

O limite de resistência da madeira na seção de engastamento é calculado pela equação 5:

$$\text{Eq. (5): } \sigma_F = \frac{32 \pi^2 \times p \times \ell}{C^3}$$

Onde:

σ_F = limite de resistência da madeira à flexão na seção de engastamento em MPa

p = carga de ruptura em N

ℓ = distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de "Y" em cm

C = circunferência na seção de engastamento em cm

O módulo de elasticidade da madeira é calculado pela equação 6:

$$\text{Eq. (6): } E_f = \frac{64 \cdot \pi^3 \cdot \ell^3}{3 \cdot C^3 \cdot c} \times \frac{\Delta_p}{\Delta_x}$$

Onde:

E_f = módulo de elasticidade da madeira em MPa

ℓ = distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de "Y" em cm (flecha no sentido horizontal)

p = carga de ruptura em N

C = circunferência na seção de engastamento em cm

c = circunferência no ponto de aplicação de carga em cm

x = flecha no sentido vertical em cm

Por se tratar de postes retirados de serviço (usados), para os quais não estão estabelecidos parâmetros de resistência mecânica, estão sendo utilizados como referência os parâmetros para dimensionamento apresentados no item 4.3.3 da NBR 8456 que trata de postes novos, relacionados abaixo:

- Limite de resistência a flexão - σ_f : $850 \text{ daN/cm}^2 = 83,3 \text{ MPa}$
- Módulo de elasticidade a flexão - E_f $130.000 \text{ daN/cm}^2 = 11.740 \text{ MPa}$
- Massa específica aparente - $p = 0,9 \text{ kg/m}^3$

Para a realização dos testes de flexão nos postes foi construída uma área de testes no Campus da PUCRS de Viamão, conforme o layout representado nas Figuras 4.27 e 4.28.

O poste de madeira, com comprimentos entre 8 e 12 m, após devidamente engastado, é apoiado sobre um suporte móvel, sendo então envolto por um cabo de aço a 30 cm do topo, região pela qual é flexionado. Este cabo é preso a uma das extremidades de uma célula de carga, a qual tem sua outra extremidade presa a outro cabo que é tracionado em velocidade constante por um motor elétrico preso a um suporte deslizante.

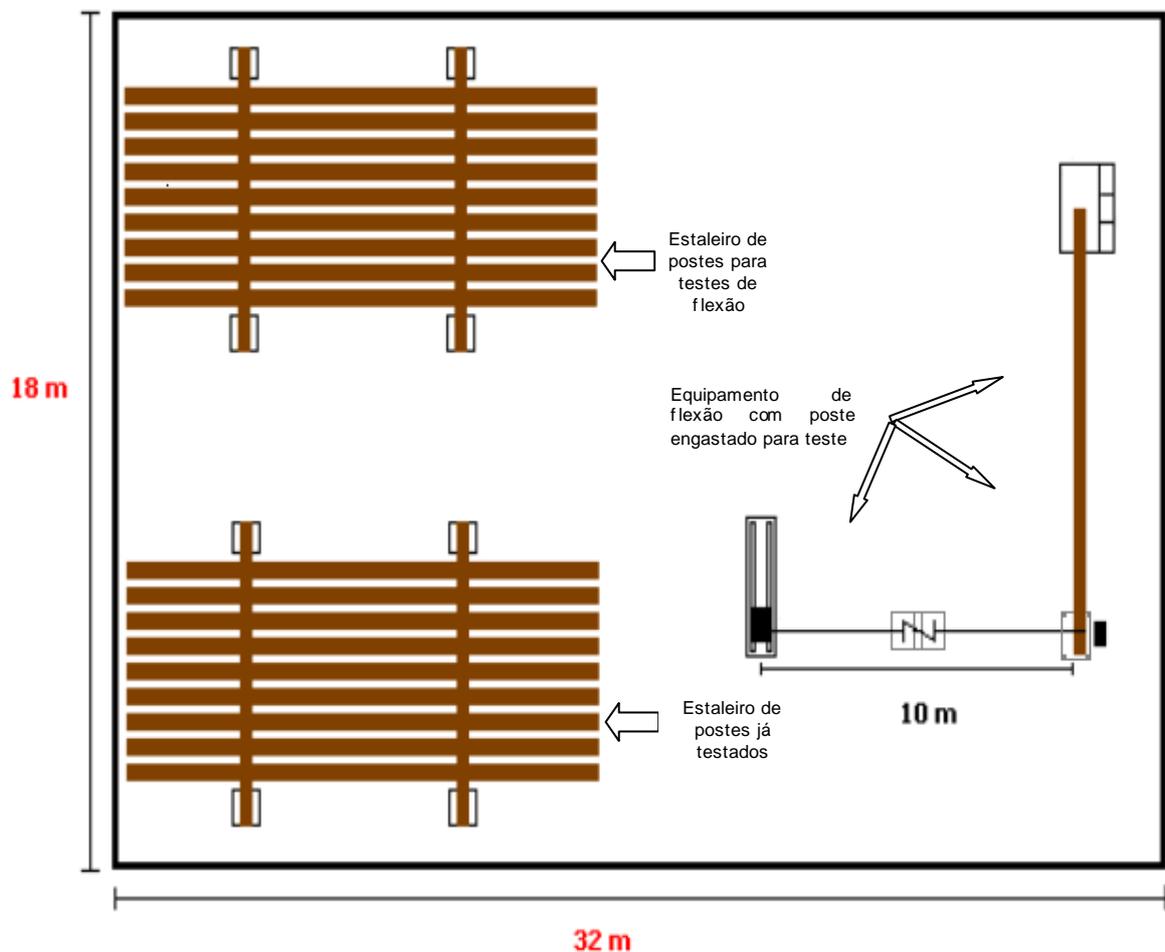


Figura 4.27 Layout da área de testes de flexão (adaptado de Alencastro, 2010).

O sistema de tração (motor e guincho) está apoiado sobre canaletas que permitem o deslocamento horizontal o que possibilita o ajuste para cada comprimento de poste em teste (Figura 4.28).

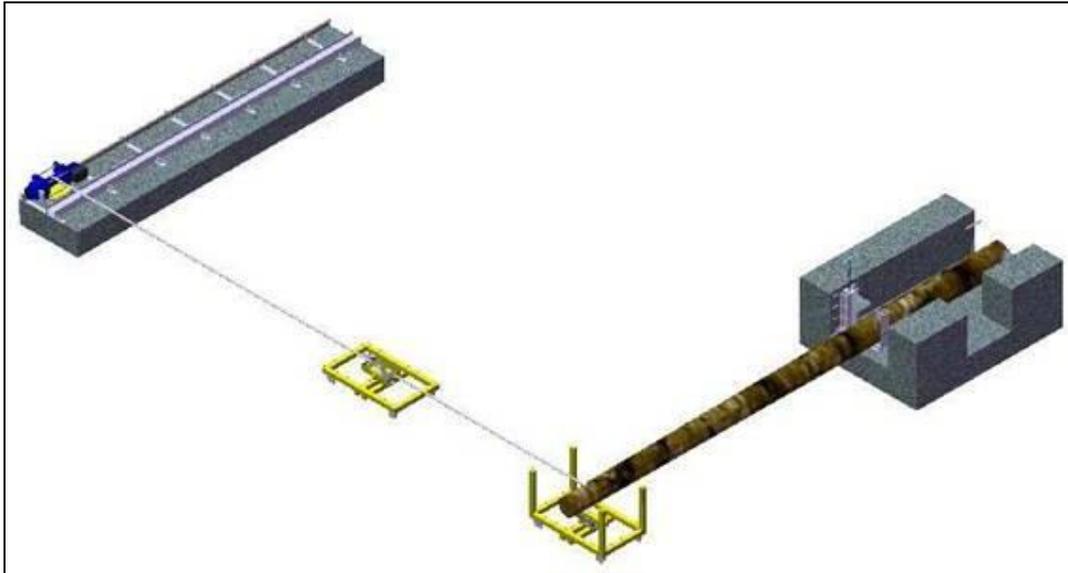


Figura 4.28 Esquema do sistema de flexão dos postes (Alencastro, 2010).

4.6. Tratamento estatístico

No tratamento estatístico dos resultados referentes as inspeções dos postes em serviço, foram considerados como dados primários aqueles obtidos durante o desenvolvimento da fase 3 do projeto de pesquisa (2008 a 2010). Os resultados referentes às fases 1 e 2 do referido projeto são considerados dados secundários e foram utilizados, juntamente com os dados primários no estudo da evolução do estado de conservação dos postes durante o período 2001/2010.

Estes dados estatísticos são apresentados em duas situações, levando-se em conta a influência do tempo nas variáveis e desconsiderando o tempo. Para as amostragens (inspeções) em função do tempo, os postes foram organizados em três grupos (Tabela 4.1), conforme descrito abaixo:

- **Grupo 1:** 465 postes localizados nos municípios de Canoas e Montenegro, inspecionados na fase 1 (2002) e, após um intervalo de seis anos, inspecionados novamente na fase 3 (2008) e reinspecionados, ainda dentro desta mesma fase (2010), após um intervalo de um ano e seis meses;
- **Grupo 2:** 895 postes localizados nos municípios de Canoas e Montenegro, inspecionados na fase 2 (2005) e, após um intervalo de três anos, inspecionados novamente na fase 3 (2008) e

reinspecionados, ainda dentro desta mesma fase (2010), após um intervalo de um ano e seis meses;

- **Grupo 3:** 7.708 postes localizados nos municípios de Santa Maria, São Borja, Rosário do Sul, Santana do Livramento, Dois Irmãos, Esteio, Harmonia, Ivoti, Novo Hamburgo, Portão, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Estância Velha, General Câmara, Lajeado, Rio Pardo, Santa Cruz e Taquari, inspecionados na fase 2 (2004/2005/2006) e inspecionados novamente na fase 3 (2008/2009/2010).

Tabela 4.1 Postes inspecionados para tratamento estatístico.

Grupo	Municípios	Nº de postes	Período de inspeções	Intervalo 1ª e 2ª inspeção	Intervalo 2ª e 3ª inspeção
Grupo 1 (Fases 1 e 3)	Canoas F 1	465	2002/2008/2010	6 anos	1,5 anos
	Montenegro F 1				
Grupo 2 (Fases 2 e 3)	Canoas	895	2005/2008/2010	3 anos	1,5 anos
	Montenegro				
Grupo 3 (Fases 2 e 3)	Santa Maria	7.708	2004/2005/2006 2008/2009/2010	4 anos	-
	São Borja				
	Rosário do Sul				
	Santana do Livramento				
	Dois Irmãos				
	Esteio				
	Harmonia				
	Ivoti				
	Novo Hamburgo				
	Portão				
	São Leopoldo				
	São Sebastião do Caí				
	Estância Velha				
	General Câmara				
	Lajeado				
Rio Pardo					
Santa Cruz					
Taquari					
Total		9.068			

Na análise dos dados obtidos em campo durante as inspeções foram considerados os seguintes itens:

- Classificação atual dos postes comparada com a classificação obtida nas etapas anteriores do projeto, traçando o perfil de evolução no processo de deterioração, caracterizado pela migração dos postes entre as classes;
- Tempo médio de permanência dos postes de madeira em serviço e casos atípicos (máximo e mínimo tempo de durabilidade dos postes);
- Expectativa de vida útil para os postes de madeira.

Na interpretação dos dados resultantes dos testes de resistência foram considerados os seguintes itens:

- Resistência mecânica média dos postes em serviço e casos extremos (resistência máxima e mínima);
- Relação entre a resistência mecânica e o estado de conservação dos postes (nível de deterioração) típico para cada classe.

A análise dos dados foi feita com o pacote estatístico *R* versão 2.12.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Todos os testes foram realizados assumindo níveis de significância $\alpha=5\%$. *Valores p*, onde *p-values* e *p* são sinônimos.

Inicialmente foram feitas correções no banco de dados para a retirada de dados inconsistentes como: postes não localizados nas inspeções posteriores, postes com erros de digitação em itens como classe, material, preservativo e data de fabricação. Foram também excluídos postes com dados incompletos que pudessem comprometer a avaliação estatística. De um total de 9.245 postes integrantes da base de dados, após as correções restaram 9.068 postes que foram foco da análise estatística e das discussões deste trabalho.

Para avaliar a idade dos postes em cada uma das inspeções, foi utilizada a relação: *Idade = Data da inspeção – Data da fabricação*. Foi realizada uma análise de sobrevivência (Hosmer and Lemeshow, 1999) e uma regressão logística (AGRESTI, 2007), para os postes de madeira com placa de identificação e que não foram substituídos na 2ª e 3ª inspeções, cuja data de fabricação era inferior a pelo menos um ano em relação à data da primeira inspeção, totalizando 2.954 postes. Foram utilizadas ainda metodologias descritivas, teste t e teste exato de Fisher (MONTGOMERY and RUNGER, 2003).

Para as avaliações estatísticas dos testes de flexão realizados nos postes de madeira, foi utilizado o teste paramétrico: Análise de Variância (ANOVA) de um fator com post-hoc de Tukey (SHESKIN,2000), e o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis com teste de Dunn, para comparações múltiplas (SIEGEL and CASTELLAN, 1988; DUNN, 1964). Foi também testada a normalidade através do teste de Shapiro Wilk (SHESKIN, 2000).

Optou-se utilizar o teste Kruskal-Wallis para comparar a mediana das classes para ambas as variáveis (MOEf e MORf), rejeitando-se a normalidade para uma delas (MOEf) e não se pode assumir homogeneidade das variâncias na outra (comparações utilizando ANOVA não seriam adequadas nestes casos).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Postes novos

Os resultados referentes a qualidade de postes novos são apresentados em dois tópicos principais: um abordando as florestas de eucalipto onde os postes são extraídos e outro referente a usina de tratamento onde os postes são preparados e tratados, para depois ser encaminhados às redes de energia elétrica.

5.1.1. Florestas de eucalipto

Todas as dez florestas de eucalipto em que os dois fornecedores de postes da AES Sul (Fabricante A e Fabricante B) estavam colhendo madeira para a produção de postes eram pertencentes a terceiros (outras empresas ou pessoas físicas) e o processo de colheita era feito mediante a compra do material extraído. Trata-se de florestas manejadas para diversos fins (madeira serrada, escoras para construção civil, energia e postes) com eucaliptos variados: *Eucalyptus dunii*, *E. grandis*, *E. paniculata*, *E. saligna*, *E. tereticornis* e *Corymbia citriodora*.

No horto florestal Fazenda Boa Vista, localizado no município de Pântano Grande e pertencente a empresa fumageira Souza Cruz, o Fabricante A estava fazendo a extração de postes de *E. dunii*. Cabe lembrar que, embora os postes produzidos com *E. dunii* tenham se apresentado dentro dos padrões de qualidade aqui avaliados, esta espécie não consta da lista de espécies definidas para a fabricação de postes segundo a NBR 8456.

Quanto aos demais aspectos avaliados nas florestas, foi constatado que no horto florestal Quebra-Canga (fabricante A) localizado no município de Caçapava do Sul, o processo de corte, baldeio, estaleiramento, carregamento e transporte era feito todo de forma mecanizada, o que confere maior qualidade, segurança e

padronização ao processo. Apenas o descascamento, assim como nos demais hortos era feito manualmente uma vez que o processo mecanizado de descasque provoca pequenas lesões no alburno das peças de madeira, o que para postes se trata de um defeito indesejável. Nos demais hortos florestais, embora parte do processo ocorresse de forma manual, não foram identificados problemas neste processamento.

No que diz respeito a idade das árvores, conforme dados de cadastro apresentados pelos fabricantes, em todas as florestas avaliadas os talhões de eucalipto em processo de extração tinham mais de oito anos, idade mínima estabelecida na NBR 8456.

Quanto ao potencial produtivo, o fabricante A foi o que apresentou o resultado mais satisfatório. Se considerarmos a demanda média atual de postes da compradora (cerca de 800 postes/mês), seus estoques de postes já extraídos e com coleta programada eram suficientes para cerca de três anos. O fabricante B apresentou deficiência neste aspecto, o que pode ser comprovado por constantes atrasos e falta de produto para atendimento as necessidades da compradora.

Em dois dos hortos florestais visitados (fabricante A) foi constatado que parte dos postes que aguardavam carregamento se encontravam dispostos diretamente no solo (Figura 5.1), o que não é recomendado, pois a umidade propicia a ação de fungos deterioradores da madeira. Foi recomendado o estaleiramento sobre longarinas de madeira, o que foi prontamente atendido.



Figura 5.1 Postes dispostos em contato direto com o solo.

5.1.2. Usina de preservação de madeira

Foram realizadas quatro visitas técnicas na usina de preservação de madeira do fabricante A e duas no fabricante B, uma vez que este segundo já não fornece postes para a AES Sul a cerca de um ano e meio. Os resultados obtidos foram tratados separadamente conforme descrito abaixo:

5.1.2.1. Resultados do fabricante A

Foi inspecionado um total de 158 postes, dos quais 84 eram de postes tratados, de onde foram coletadas as amostras de madeira para a realização de testes de retenção e penetração de CCA, e 74 postes de madeira *in natura* estaleirada para tratamento posterior.

Entre os itens avaliados nas inspeções (medidas da base, do topo e do alborno; imperfeições como: sinais de apodrecimento, fendilhamento, rachaduras e umidade da madeira) não houve defeitos significativos a ponto de comprometer a qualidade dos postes. Foram identificados dez postes (6,5%) com diâmetros (base e topo) fora das especificações da AES Sul.

Nos postes de madeira *in natura* foram identificados 12 postes (16,7%) apresentando rachaduras de base e topo, porém eram postes ainda não preparados para tratamento. Sendo assim parte destas rachaduras podem ser removidas quando da preparação dos postes.

Em relação aos percentuais de umidade da madeira foram identificadas variações significativas entre os 74 postes de madeira *in natura*. Foram encontrados postes aonde a umidade medida chegou ao extremo de 64,5% (poste de 10m) e ao mesmo tempo postes com umidade de 25,5% (poste de 9m). Como se tratava de madeira ainda não preparada, esta heterogeneidade entre os níveis de umidade pode ser corrigida com um bom controle pré-tratamento, selecionando os postes com umidade dentro dos parâmetros estabelecidos para tratamento (máximo 35%).

De 32 postes onde foram coletadas amostras de madeira para análise de retenção e penetração de CCA (Figura 5.2 A e B) os resultados foram os seguintes:

- Nos 12 postes de 9 metros, mais da metade apresentou valores de retenção abaixo dos $9,6 \text{ kg/m}^3$ estabelecidos na NBR 8456, sendo que em um deles o valor medido foi de $5,0 \text{ kg/m}^3$, ou seja praticamente a metade do limite mínimo aceitável;
- Nos 10 postes de 10 metros analisados, os resultados foram ainda mais negativos, sendo que 70% das amostras apresentaram valores abaixo do estabelecido na NBR. O caso extremo foi observado em um poste onde a retenção encontrada foi de $1,4 \text{ kg/m}^3$;
- Entre os 10 postes de 12 metros avaliados todos apresentaram retenção abaixo dos valores mínimos estabelecidos, sendo encontrado um poste com retenção de apenas $5,3 \text{ kg/m}^3$.

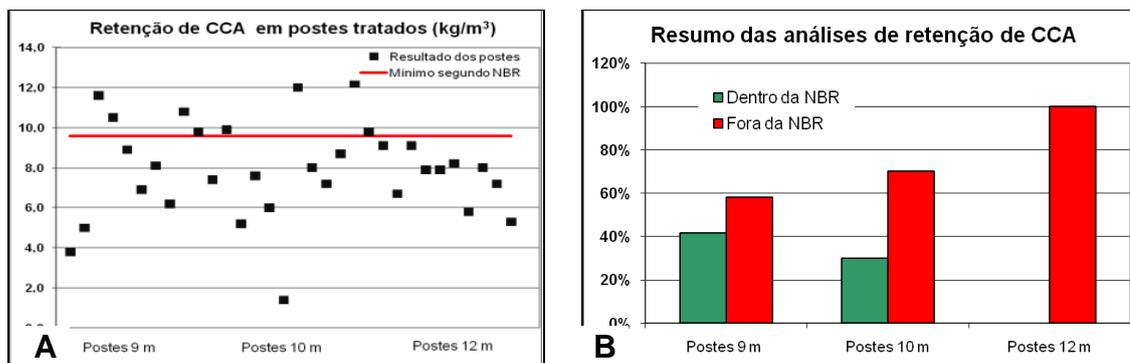


Figura 5.2 (A e B) Retenção de CCA em amostras de postes novos – Fabricante A

Estes resultados devem ser vistos com atenção, uma vez que se referem a postes utilizados em redes de média e baixa tensões e que, provavelmente, com os valores de retenção encontrados não atingirão a durabilidade esperada, conforme determinação da norma (mínimo de 15 anos).

Cabe salientar que, a necessidade de substituição de postes abaixo do tempo mínimo estabelecido, quando feita em volumes significativos, compromete não só a viabilidade econômica da utilização destas estruturas, como também a confiabilidade e a segurança do sistema de distribuição de eletricidade.

Quanto ao balanceamento da solução de CCA utilizada na preservação dos postes, os resultados das análises indicaram percentuais dos ingredientes ativos (óxidos de cobre, cromo e arsênio) dentro dos parâmetros normais estabelecidos na

NBR 8456. Os níveis de penetração do CCA ficaram dentro dos padrões normais, tendo sido impregnado todo o alburno dos postes avaliados.

5.1.2.2. Resultados do fabricante B

Ao todo foram realizadas duas visitas técnicas na usina de preservação de madeira, onde foi inspecionado um total de 48 postes. Entre os postes inspecionados 27 eram tratados, dos quais foram coletadas 21 amostras de madeira para a realização dos testes de retenção e penetração de CCA, e 21 postes de madeira *in natura* estaleirada para tratamento.

Assim como no fabricante A, foram avaliados nas inspeções (medidas da base, do topo e do alburno; imperfeições como: sinais de apodrecimento, fendilhamento, rachaduras, umidade,...) não sendo encontrados defeitos significativos a ponto de comprometer a qualidade dos postes. Foram identificados apenas dois postes (4,0%) com pequenas rachaduras na base e não foram encontrados postes com diâmetros fora das especificações da compradora.

Quanto aos percentuais de umidade da madeira ocorreram variações significativas entre os 21 postes de madeira *in natura* inspecionados. Foram encontrados postes em que a umidade medida chegou ao extremo de 63,3% (poste de 11m) e ao mesmo tempo postes com umidade de 20,5% (poste de 9m).

Nos 21 postes onde foi avaliada a retenção e penetração de CCA (Figura 5.3 A e B) os resultados apontaram uma variabilidade significativa nos valores de retenção, oscilando entre 18,7 kg/m³ (poste de 9 metros) e 8,1 kg/m³ (poste de 10 metros), conforme descrito abaixo:

- Entre os oito postes de 9 metros avaliados, 75% destes apresentaram valores acima do mínimo de 9,6 kg/m³ estabelecidos na NBR;
- Dos seis postes de 10 metros analisados, 66% apresentaram retenção abaixo do mínimo estabelecido;
- Dos sete postes de 12 metros 75% apresentaram valores acima do mínimo.

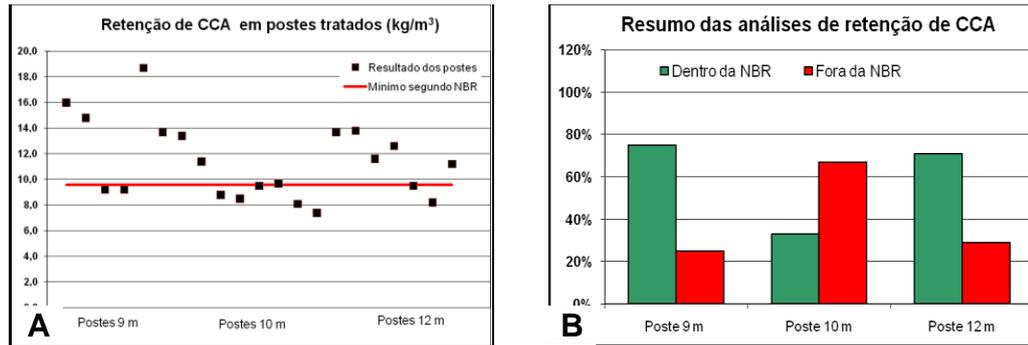


Figura 5.3 (A e B) Retenção de CCA em amostras de postes novos – Fabricante E

Quanto ao balanceamento da solução de CCA utilizada na preservação dos postes, os resultados indicaram percentuais dos ingredientes ativos (óxidos de cobre, cromo e arsênio) dentro dos parâmetros normais estabelecidos na NBR.

5.2. Inspeções dos postes em serviço

As inspeções dos postes em serviço, na fase 3 do projeto de pesquisa, foram realizadas entre agosto de 2008 e novembro de 2010, resultando em uma base de dados com um total de 9 068 postes inspecionados (Figura 5.4). Esta base contém resultados de inspeções realizadas nas fases 1 e 2 do projeto, acrescidos dos resultados das reinspeções da fase 3.

Os postes reinspecionados na fase 3 estão distribuídos em 20 dos 23 municípios da região centro-oeste do Rio Grande do Sul, os quais haviam sido abrangidos pelo projeto em suas fases anteriores.

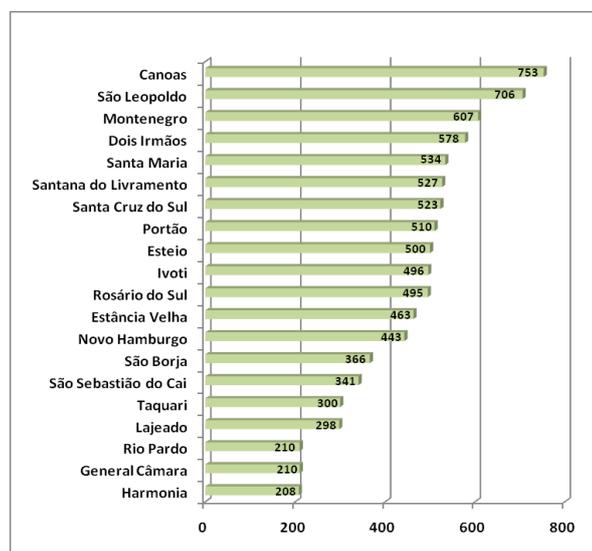


Figura 5.4 Quantidade de postes inspecionados em cada município.

Conforme descrito no quadro 4.1 do item 4.2 a previsão de postes a ser inspecionados era de 9.245 postes, o que significa que cerca de 2% (177 postes) ou não foram encontrados em campo ou foram retirados da base quando da sua preparação para a análise estatística. A não localização dos postes previstos para inspeções pode ter ocorrido por falhas na sua identificação ou mesmo por alterações realizadas nas redes, no período de tempo transcorrido entre as inspeções.

O tratamento estatístico apresentado a seguir foi baseado no número efetivo de postes localizados (9.068) e que passaram por nova inspeção (reinspeção).

Na Figura 5.5 é apresentada a distribuição dos postes reinspeccionados por região. Observa-se que, mais de 60% do total de postes inspecionados estão concentrados na região metropolitana de Porto Alegre. Esta proporção foi definida considerando-se que, devido ao maior índice de urbanização da região metropolitana também é maior a densidade de postes por área e assim ficou mantida a proporção na área amostrada.

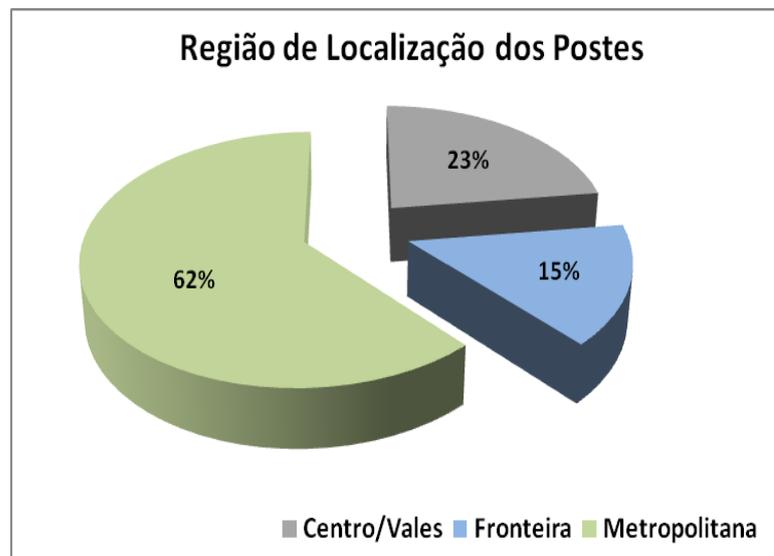


Figura 5.5 Distribuição dos postes inspecionados por região.

Na Tabela 5.1 é apresentada a distribuição dos postes pela sua localização entre as zonas urbana e rural. Novamente foi levada em conta a proporção entre as densidades de postes nas duas áreas e também o fato de que alguns municípios sequer possuem zona rural.

Tabela 5.1 Distribuição dos postes inspecionados entre as zonas urbana e rural.

Local	Contagem	Porcentagem
Zona Rural	741	8%
Zona Urbana	8.327	92%
Total	9.068	100%

Embora significativamente maior o número de postes na zona urbana, a Tabela 5.2 indica um número maior de postes localizados e terreno sem calçada. A presença de calçada junto a zona de engastamento do poste, além de ser um fator a observar quanto ao aspecto de segurança, pois eventualmente deteriorações significativas da porção externa do poste ficam ocultas pelo calçamento, a impermeabilização causada muitas vezes contribui para o acúmulo de água nesta região, facilitando a ação dos organismos deterioradores da madeira.

Tabela 5.2 Distribuição dos postes por tipo de terreno.

Tipo de terreno	Contagem	Percentual
Com calçada	2.832	31%
Sem calçada	6.236	69%
Total	9.068	100%

A Figura 5.6 apresenta a classificação dos postes inspecionados levando em conta o seu comprimento. A expressiva superioridade no número de postes de 9 e 11 m ocorre por conta de que, nas redes de distribuição de energia elétrica, são os dois comprimentos de postes mais utilizados (9m nos circuitos de baixa tensão e 11m nas redes de alta tensão).

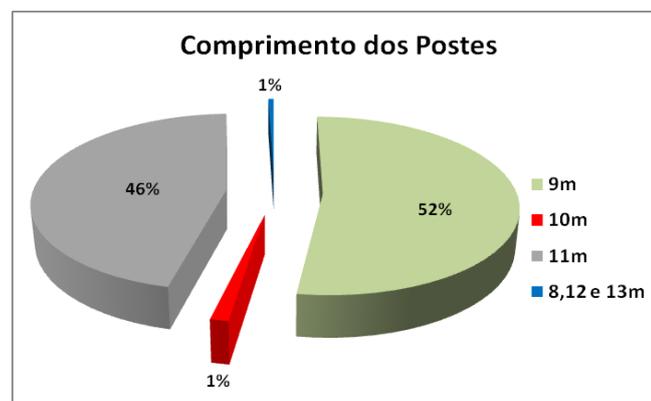


Figura 5.6 Distribuição dos postes inspecionados por comprimento.

Com relação ao número de postes com e sem placa de identificação, esta avaliação é feita apenas em relação aos postes de madeira e foi verificado que entre a primeira e a terceira inspeção houve um pequeno crescimento do número de postes sem placa, dos 59% iniciais para 63% nesta última inspeção (Tabela 5.3).

A placa de identificação é um item importante na avaliação da durabilidade de postes de madeira em serviço, pois é dela que se obtém a informação referente a data de fabricação dos postes e consequentemente sua idade no momento da inspeção.

Os tratamentos estatísticos referentes ao tempo de vida útil dos postes somente são possíveis com base na sua data de fabricação, logo esta avaliação se reduz a cerca de 40% dos postes inspecionados.

Tabela 5.3 Presença da placa de identificação nos postes de madeira.

Placa de Identificação	Contagem		Percentual	
	1ª Inspeção	2ª Inspeção	1ª Inspeção	2ª Inspeção
Com placa	3.409	2.802	41%	37%
Sem placa	4.842	4.770	59%	63%
Total	8.251	7.572	100%	100%

Com base nos postes que possuem placa de identificação, onde é possível determinar sua data de fabricação, foi elaborada a Tabela 5.4 onde é apresentada a idade média dos postes nas três inspeções (grupos 1 e 2) e para o grupo 3 na primeira e na segunda inspeção. Observa-se nesta Tabela que, a medida que foram ocorrendo as inspeções, a proporção de postes com menos de 15 anos (idade de referência da NBR 8456) diminui e aumenta a dos postes com mais de 15 anos.

Tabela 5.4 Descritivas da idade dos postes por inspeção.

Inspeção	Idade Média em anos	DP	Mín	Máx	<15 anos	>= 15 anos
1ª inspeção	8,85	5,84	1	36	85,4%	14,6%
2ª inspeção	12,44	6,08	1	40	64,7%	35,3%
3ª inspeção	14,53	6,45	3	37	56,4%	43,6%

DP= Desvio Padrão

Quanto à proporção entre o número de postes de madeira e concreto, nas redes da área do estudo, se pode verificar na Tabela 5.5 que é crescente a substituição do material madeira pelo concreto para esta finalidade.

O percentual de postes de concreto nas redes, que na primeira inspeção era de 9% passou para 16% na segunda, ou seja, um incremento de 677 postes (cerca de 7%). Já entre a segunda e a terceira inspeção, tomando-se por base apenas os postes de Canoas e Montenegro verifica-se que o crescimento na substituição da madeira por concreto é ainda maior e fica mais evidente nos capítulos que tratam dos grupos separadamente.

Tabela 5.5 Proporção entre postes de madeira e concreto nas três inspeções.

Material	Contagem		Porcentagem	
	1ª Inspeção	2ª Inspeção	1ª Inspeção	2ª Inspeção
Concreto	817	1.494	9%	16%
Madeira	8.251	7.574	91%	84%
Total	9.068	9.068	100%	100%

5.2.1. Resultados do grupo 1

A Figura 5.7 mostra os postes do grupo 1 (465 unidades), onde o intervalo de tempo entre a primeira e a segunda inspeção foi de 6 anos, o crescimento na substituição dos postes de madeira por concreto foi de seis vezes para este período, passando de 2% (11 unidades) para 12% (56 unidades). Já entre a segunda e a terceira inspeção, considerando-se que o intervalo de tempo cai para um ano e meio, houve um incremento também muito significativo (19%) de postes de concreto nas redes, passando de 12% (56 unidades) para 31% (146 unidades).

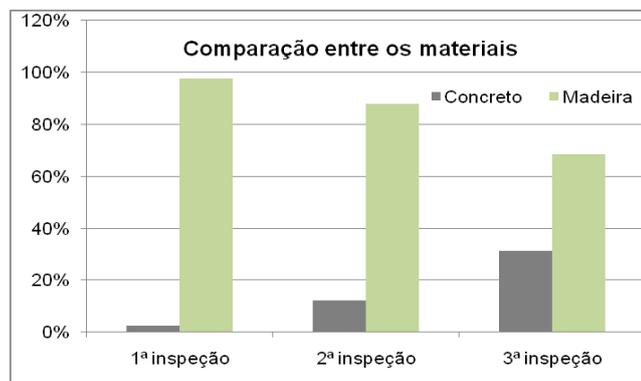


Figura 5.7 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 1.

Quando comparados os municípios de Canoas e Montenegro, quanto a presença da placa de identificação (Figura 5.8), observa-se que no primeiro município, dos 292 postes inspecionados apenas 89 (30%) possuem placa. Já em Montenegro cerca de metade (84 dos 173 postes inspecionados) possuem placa. Desta forma a avaliação quanto à idade dos postes ficou limitada aos 173 postes que possuem a referida placa.

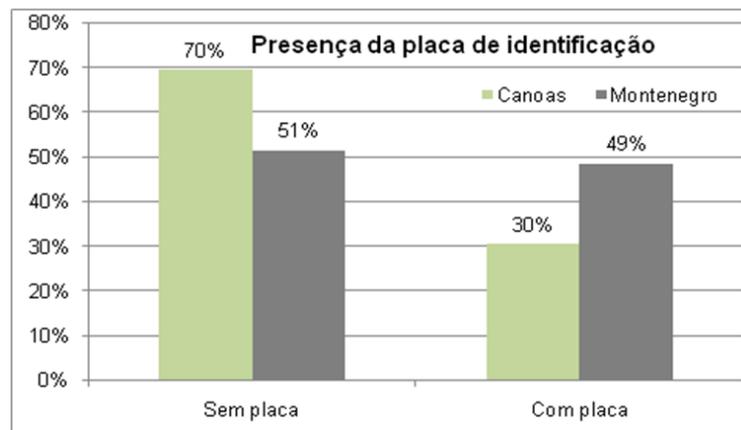


Figura 5.8 Comparação entre os postes do grupo 1, com e sem placa de identificação na terceira inspeção.

Quanto à idade dos postes em serviço, tomando por base aqueles que possuem placa de identificação, verifica-se um significativo crescimento no percentual de postes com mais de 15 anos em serviço (Figura 5.9).

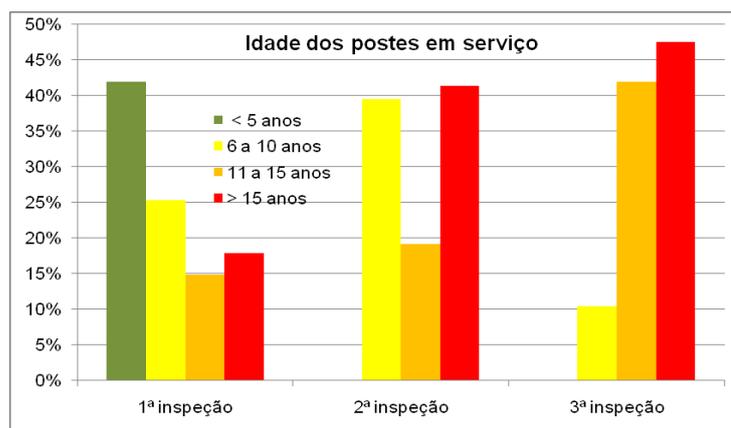


Figura 5.9 Comparativo entre as idades dos postes em serviço (agrupados em intervalos de cinco anos) entre as três inspeções.

Na Figura 5.10 verifica-se um comparativo entre os municípios de Canoas e Montenegro quanto ao avanço de classes para os postes em serviço. Para ambos

observa-se redução nos postes classe 1, entre as inspeções, porém em Canoas os postes classe 4 crescem entre as três inspeções, já em Montenegro verifica-se uma redução entre a segunda e a terceira inspeção. Este comportamento para Montenegro se explica por uma substituição mais representativa de madeira por concreto entre estas inspeções.

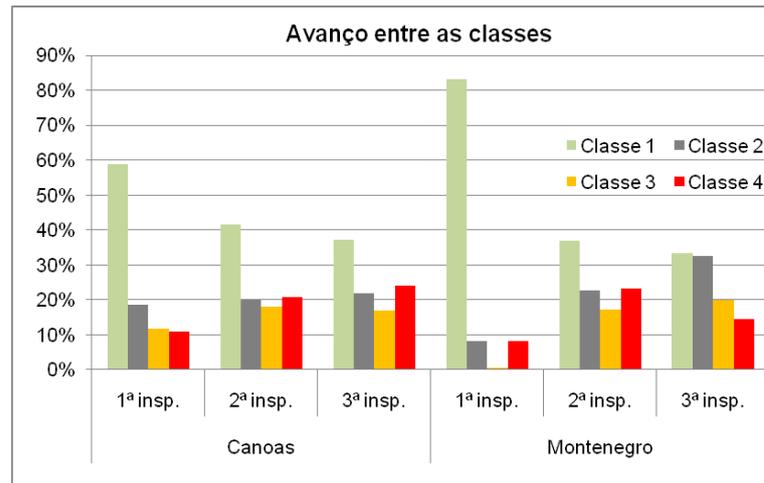


Figura 5.10 Avanço entre as classes para as três inspeções dos postes de Canoas e Montenegro.

A Tabela 5.6 apresenta resumidamente a classificação dos postes do grupo 1 por intervalo de idade (intervalos de cinco anos) para as três inspeções. Das três inspeções, apenas na primeira houve postes no intervalo de 0 a 5 anos e apenas nas classes 1 e 2, o que retrata o bom estado dos postes nesta faixa de idade. Em destaque os postes com mais de 15 anos (limite mínimo de durabilidade dos postes conforme a NBR 8456) e novamente o resultado foi positivo, pois, nas três inspeções houve dominância de postes nas classes 1 e 2.

Tabela 5.6 Contagem de classificação dos postes por intervalo de idade para as três inspeções dos postes do grupo 1.

Intervalo de idade	1ª inspeção					2ª inspeção					3ª inspeção				
	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total
< 5 anos	62	6	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 a 10 anos	34	5	0	2	41	25	18	9	10	62	4	5	4	2	15
11 a 15 anos	16	3	3	2	24	12	6	5	5	28	17	16	4	8	45
> 15 anos	15	1	8	5	29	19	12	14	16	61	14	11	11	13	49
Total	127	15	11	9	162	56	36	28	31	151	35	32	19	23	109

Nas Tabelas 5.7 e 5.8 observa-se que, no período de seis anos transcorrido entre a primeira e a segunda inspeção, 92 (32%) dos 282 postes da classe 1 migraram para as classes 3 e 4, já entre os 59 postes classe 2, 31 (53%) migraram para as classes 3 e 4. Se considerada uma expectativa de vida útil de 15 anos, baseado na NBR 8456, a qual indica como nível máximo de falhas aceitáveis para este período um percentual de até 16%, verifica-se que o percentual de postes que atingiu a classe 4 (final de vida útil) ficou em 18%.

Entre os postes classe 4, 2 unidades (58%) retornaram às classes 1 e 2, ou seja, foram substituídos neste período, já 39% destes postes permaneceram em serviço mesmo se apresentando em estado avançado de deterioração.

Tabela 5.7 Contagem de migração dos postes entre as classes (1ª para a 2ª inspeção).

		Classe na 2ª Inspeção				Substituídos	Total
		Classes	1	2	3		
Classe na 1ª Inspeção	1	119	71	49	43	0	282
	2		12	13	18	16	59
	3			9	13	8	30
	4				15	23	38
	Total	119	83	71	89	47	409

Tabela 5.8 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (1ª para a 2ª inspeção).

		Classe na 2ª Inspeção				Substituídos	Total
		Classes	1	2	3		
Classe na 1ª Inspeção	1	42%	25%	17%	15%	0%	100%
	2		20%	22%	31%	27%	100%
	3			30%	43%	27%	100%
	4				39%	61%	100%

Para o período de um ano e meio, transcorrido entre a segunda e a terceira inspeção, dos 137 postes da classe 1 nenhum atingiu a classe 4 e dos 56 postes classe 4, seis (11%) passaram para as classes 1 e 2, ou seja, foram substituídos por novos postes de madeira (Tabelas 5.9 e 5.10).

Tabela 5.9 Contagem de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).

		Classe na 3ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 2ª Inspeção	1	106	25	6	0	0	137	
	2		51	16	3	5	75	
	3			34	14	2	50	
	4				49	7	56	
	Total	106	76	56	66	14	318	

Tabela 5.10 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).

		Classe na 3ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 2ª Inspeção	1	78%	18%	4%	0%	0%	100%	
	2		68%	21%	4%	7%	100%	
	3			68%	28%	4%	100%	
	4				88%	12%	100%	

5.2.2. Resultados do grupo 2

Entre os postes do grupo 2 (895 unidades), nos quais o intervalo de tempo entre a primeira e a segunda inspeção foi de 3 anos, houve um incremento de 4% de postes de concreto em substituição aos postes de madeira, passando de 104 unidades na primeira inspeção para 143 na segunda. Já entre a segunda e a terceira inspeção, considerando-se que o intervalo de tempo entre elas foi de um ano e meio, o crescimento do número de postes de concreto nas redes foi mais expressivo, passando de 143 unidades para 251, ou seja, de 16% para 28% do total de 895 postes desta amostragem (Figura 5.11).

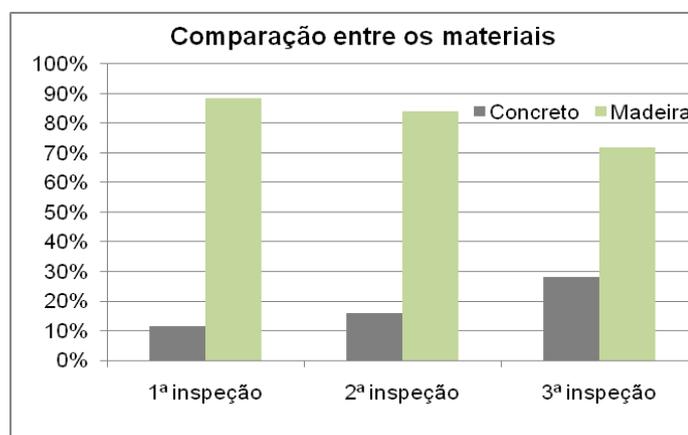


Figura 5.11 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 2.

Diferentemente dos postes do grupo 1, neste grupo os 895 postes inspecionados apresentaram certa homogeneidade quanto ao número de postes com e sem placa de identificação nos dois municípios. O percentual de postes sem placa ficou em torno de 70% (Figura 5.12): 326 dos 461 postes inspecionados em Canoas e 297 dos 434 postes de Montenegro. Neste caso a avaliação referente a idade dos postes em serviço ficou ainda mais reduzida (272 dos 895 postes inspecionados).

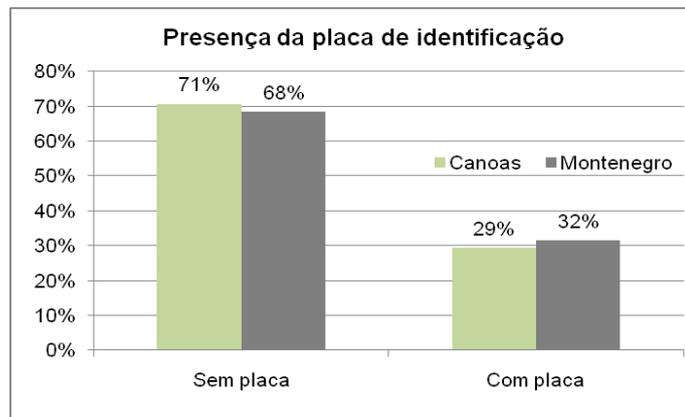


Figura 5.12 Comparação entre postes do grupo 2, com e sem placa de identificação na terceira inspeção.

Assim como foi verificado nos postes do grupo 1, os do grupo 2 apresentaram crescimento no percentual de postes com mais de 15 anos em serviço quando comparadas as três inspeções. Diferentemente do resultado do grupo 1, houve redução no número de postes no intervalo de até cinco anos, porém mesmo na terceira inspeção ainda havia postes nesta faixa de idade (Figura 5.13).

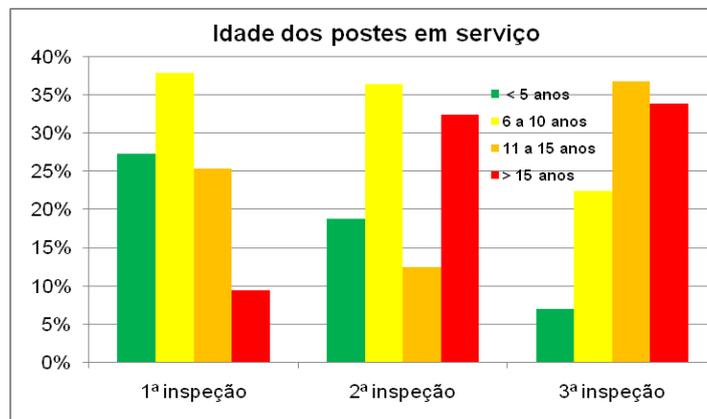


Figura 5.13 Comparativo entre as idades dos postes em serviço (agrupados em intervalos de cinco anos) entre as três inspeções.

Observando a Figura 5.14 verifica-se que no comparativo entre os municípios de Canoas e Montenegro, quanto ao avanço de classes, em ambos municípios houve redução nos postes classe 1, da primeira para a segunda inspeção e estabilização da segunda para a terceira inspeção. No município de Canoas ocorreu crescimento nos postes classe 4, nas três inspeções e, em Montenegro houve crescimento nos postes desta classe, da primeira para a segunda inspeção e estabilização da segunda para a terceira inspeção.

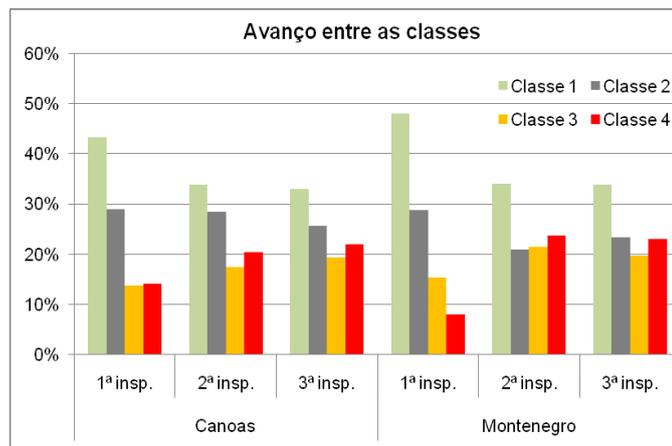


Figura 5.14 Avanço entre as classes para as três inspeções dos postes de Canoas e Montenegro.

A Tabela 5.11 apresenta um resumo da classificação dos postes do grupo 2 por intervalo de idade (intervalos de cinco anos) para as três inspeções. Fica evidente no intervalo de 0 a 5 anos um número bastante maior de postes na classe 1. Estão destacados os postes com mais de 15 anos o que representa um dado positivo, pois, ainda nesta faixa de idade há predominância de postes nas classes 1 e 2, ou seja, postes em bom estado de conservação e com perspectiva de durabilidade superior ao limite mínimo de 15 anos, estabelecido na NBR 8456.

Tabela 5.11 Classificação dos postes por intervalo de idade para as inspeções do grupo 2.

Intervalo de idade	1ª inspeção					2ª inspeção					3ª inspeção				
	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Total
< 5 anos	64	5	2	1	72	41	4	3	1	49	12	2	3	1	18
6 a 10 anos	50	34	8	8	100	38	26	15	19	98	34	10	9	3	56
11 a 15 anos	24	23	13	7	67	8	9	7	10	34	24	26	19	22	91
> 15 anos	7	10	5	3	25	20	24	20	18	82	18	15	15	16	64
Total	145	72	28	19	264	107	63	45	48	263	88	53	46	42	229

Nas Tabelas 5.12 e 5.13 verifica-se que, no período de três anos que separa a primeira da segunda inspeção, pouco mais de 60 postes (18%) dos 345 da classe 1 migraram para as classes 3 e 4. Entre os 219 postes classe 2, 93 (42%) migraram para as classes 3 e 4. Tomando-se novamente como referência a expectativa de vida útil de 15 anos para os postes de madeira e o percentual máximo de falhas admitido de 16%, observa-se que houve decaimento acima desta tolerância.

Entre os postes classe 4, 24 unidades (30%) retornaram às classes 1 e 2, ou seja, foram substituídos neste período por novos postes de madeira, já um elevado percentual (68%) destes postes permaneceu em serviço aguardando por substituição.

Tabela 5.12 Contagem de migração dos postes entre as classes (1ª para a 2ª inspeção).

		Classe na 2ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 1ª Inspeção	1	202	80	35	28	0	345	
	2		103	57	36	23	219	
	3			51	47	9	107	
	4				54	26	80	
	Total	202	183	143	165	58	751	

Tabela 5.13 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (1ª para a 2ª inspeção).

		Classe na 2ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 1ª Inspeção	1	59%	23%	10%	8%	0%	100%	
	2		47%	26%	16%	11%	100%	
	3			48%	44%	8%	100%	
	4				68%	32%	100%	

Considerando-se o período de um ano e meio transcorrido entre a segunda e a terceira inspeção, dois (1%) dos 235 postes da classe 1 atingiram a classe 4 (percentual dentro do limite de tolerância da NBR 8456). Para os 121 postes da classe 4, seis (4%) retornaram para as classes 1 e 2, ou seja, foram substituídos por postes de madeira novos (Tabelas 5.14 e 5.15).

Tabela 5.14 Contagem de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).

		Classe na 3ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 2ª Inspeção	1	195	26	12	2	0	235	
	2		117	28	7	10	162	
	3			83	24	17	124	
	4				112	9	121	
	Total	195	143	123	145	36	642	

Tabela 5.15 Probabilidade de migração dos postes entre as classes (2ª para a 3ª inspeção).

		Classe na 3ª Inspeção					Substituídos	Total
		Classes	1	2	3	4		
Classe na 2ª Inspeção	1	83%	11%	5%	1%	0%	100%	
	2		72%	17%	4%	6%	100%	
	3			67%	19%	14%	100%	
	4				93%	7%	100%	

Assim como nos postes do grupo 1, os do grupo 2 apresentaram menos migração entre as classes, da segunda para a terceira inspeção, devido ao intervalo de tempo ser relativamente pequeno (1,5 anos para ambos). No grupo 1 houve uma permanência média na classe de origem de 75% e no grupo 2 foi de 78%, para o intervalo entre a segunda e a terceira inspeção.

No grupo 1, para o intervalo de seis anos entre a primeira e a segunda inspeção houve uma permanência média na classe de origem de 32%. Neste grupo a taxa de migração da classe 3 para 4 foi maior do que a de permanência (30% dos postes permaneceram na classe 3 e 43% migrou para a 4).

No grupo 2, onde o intervalo entre a primeira e a segunda inspeção foi de 3 anos também houve uma elevada taxa de migração da classe 3 para 4, embora menor que a do grupo 2 (48% dos postes permaneceram na classe 3 e 44% migrou para a classe 4).

Esta elevada taxa de migração da classe 3 para 4 ocorre pelo fato de que os postes nestas duas classes já se encontram em estágio de deterioração mais avançado (maior perda de massa da madeira), condição em que é mais intensa a ação dos fungos deterioradores da madeira.

5.2.3. Resultados do grupo 3

Nos postes do grupo 3 (7.708 unidades), nos quais o intervalo médio de tempo entre a primeira e a segunda inspeção foi de 4 anos, verificou-se um incremento de 8% de postes de concreto em substituição aos de madeira, passando de 702 unidades na primeira inspeção para 1.296 na segunda (Figura 5.15).

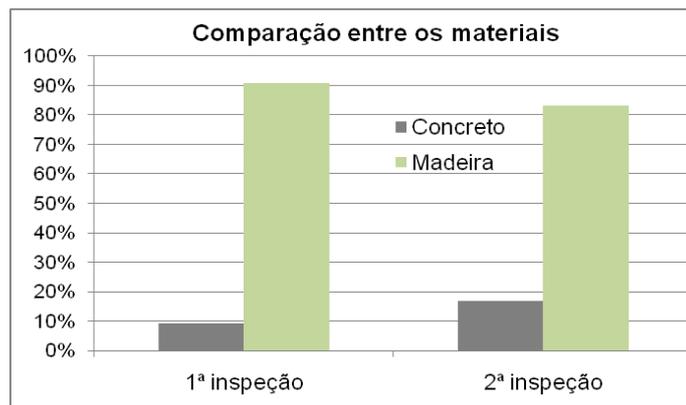


Figura 5.15 Comparação entre postes de madeira e concreto nas três inspeções dos postes do grupo 2.

Entre a primeira e a segunda inspeção, nos postes do grupo 3 observa-se que houve uma redução de 7% nos postes classe 1, passando de 3.372 unidades na primeira inspeção para 2.654 na segunda. Entre os postes das classes 2 e 3 houve certa estabilidade entre estas duas inspeções, sendo que na classe 2 houve uma redução de 2% e na classe 3 um incremento de 1% (Figura 5.16). Entre os postes da classe 4 houve incremento de 6%, passando de 881 unidades na primeira inspeção para 1.201 na segunda.

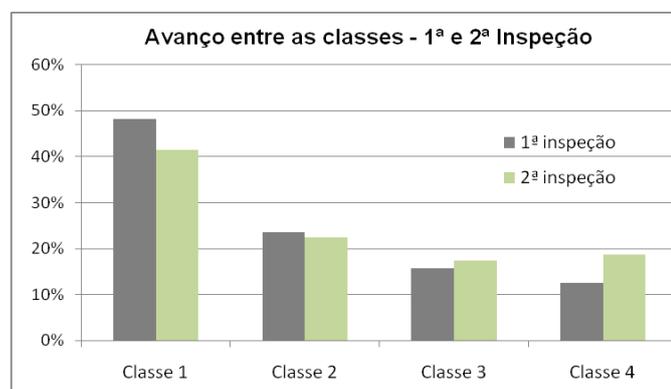


Figura 5.16 Avanço entre classes para as inspeções dos postes do grupo 3.

Como nos grupos anteriores, mais de 60% dos postes deste grupo não possuem placa de identificação, ficando a avaliação relacionada a idade dos postes em serviço limitada a 38% dos postes inspecionados (Figura 5.17).

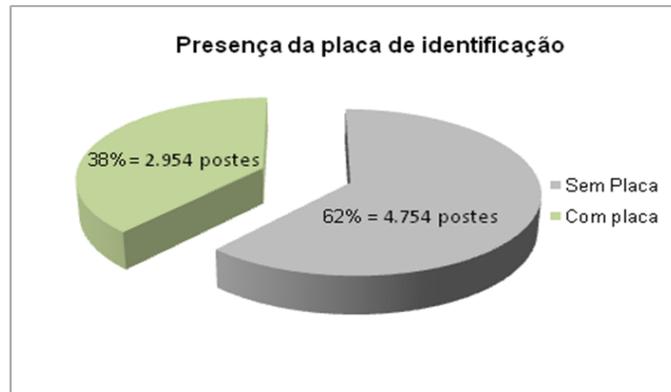


Figura 5.17 Comparação entre postes com e sem placa de identificação (grupo 3).

A Tabela 5.16 apresenta separadamente por município amostrado, os postes com e sem placa de identificação. O município de Rio Pardo se destaca pelo elevado percentual de postes sem placa de identificação (83%), seguido por Santa Cruz do Sul (79%) e Santana do Livramento (78%), igualmente com elevado percentual nesta condição. Por outro lado, os municípios de Estância Velha e Harmonia destacaram-se como os locais com maior percentual de postes com as referidas placas (60% e 58% respectivamente).

Tabela 5.16 Postes com e sem placa de identificação, relacionados por município da área de amostragem.

Município	Sem placa		Com Placa		Total contagem
	Contagem	Porcentagem	Contagem	Porcentagem	
Dois Irmãos	347	60%	231	40%	578
Estância Velha	186	40%	277	60%	463
Esteio	318	64%	182	36%	500
General Câmara	117	56%	93	44%	210
Hamonia	88	42%	120	58%	208
Ivoti	254	51%	242	49%	496
Lajeado	223	75%	75	25%	298
Novo Hamburgo	288	65%	155	35%	443
Portão	339	66%	171	34%	510
Rio Pardo	175	83%	35	17%	210
Rosário do Sul	253	51%	242	49%	495
Santa Cruz do Sul	412	79%	111	21%	523
Santa Maria	351	66%	183	34%	534
Santana do Livramento	411	78%	116	22%	527
São Borja	194	53%	172	47%	366
São Leopoldo	389	55%	317	45%	706
São Sebastião do Cai	198	58%	143	42%	341
Taquari	211	70%	89	30%	300
Total contagem	4754		2954		7708

Assim como foi verificado nos dois grupos anteriores (1 e 2), os postes do grupo 3 apresentaram crescimento na faixa acima de 15 anos em serviço entre as inspeções. Na faixa de até cinco anos houve sensível redução no número de postes (de 942 na primeira inspeção para 360 na segunda. Nos intervalos de 6 a 10 e de 11 a 15 anos houve pequena variação, sendo que no primeiro grupo redução e no segundo um pequeno crescimento entre as inspeções (Figura 5.18).

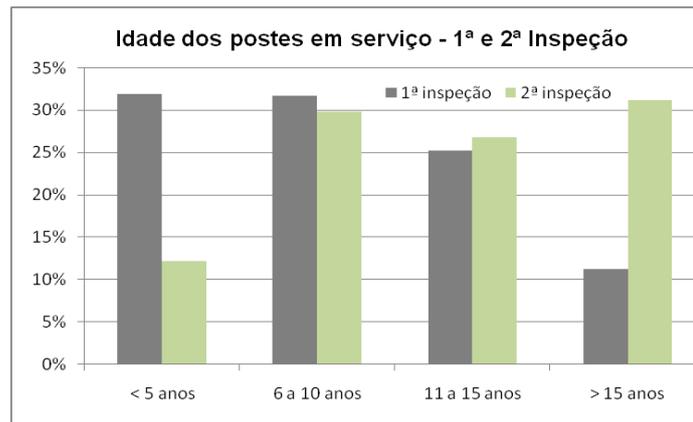


Figura 5.18 Comparativo entre as idades dos postes do grupo 3, agrupados em intervalos de cinco anos.

A Tabela 5.17 apresenta o resultado da classificação dos postes do grupo 3 por intervalo de idade (intervalos de cinco anos) para a primeira e a segunda inspeção. Fica evidente que, na primeira inspeção, para o intervalo de 0 a 5 anos é expressivamente maior o número de postes na classe 1 em relação às outras classes. Na segunda inspeção também é maior o número de postes na classe 1, porém já se verifica uma migração para as outras classes.

Para o intervalo de idade acima de 15 anos (em destaque), assim como nos dois grupos anteriores, há um número expressivo de postes nas classes 1 e 2 (43% na primeira inspeção e 40% na segunda).

Tabela 5.17 Contagem de classificação dos postes por intervalo de idade para as duas inspeções dos postes do grupo 3.

Intervalo de idade	1ª inspeção					2ª inspeção				
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total
< 5 anos	827	75	18	5	925	574	195	90	41	900
6 a 10 anos	559	260	79	35	933	412	261	136	87	896
11 a 15 anos	278	234	142	88	742	228	176	148	156	708
> 15 anos	67	76	91	94	328	78	46	52	132	308
Total	1731	645	330	222	2928	1292	678	426	416	2812

5.2.4. Inferência estatística

Foram calculadas as médias das principais variáveis analisadas e foi realizado um teste t para comparação de médias visando testar se estas são ou não iguais. Os valores com diferenças significativas estão destacados em negrito.

Os valores apresentados na Tabela 5.18 fornecem evidência de que há diferença significativa (com $\alpha=5\%$) entre as idades de postes nas regiões rural e urbana. A 2ª inspeção aponta para a mesma conclusão, ainda que $p = 5.27\% > 5\%$.

Tabela 5.18 Idades médias dos postes nas zonas rural e urbana.

Inspeção	Idade média		
	Zona rural	Zona urbana	p-valor
1ª Inspeção	7,33	9,01	0,0000
2ª Inspeção	11,89	12,49	0,0527
3ª Inspeção	NA	NA	NA

Os valores apresentados na Tabela 5.19 fornecem evidência de que há diferença significativa (com $\alpha=5\%$) entre as idades de postes em locais com e sem calçada.

Tabela 5.19 Idades médias de postes em local com calçada e sem calçada.

Inspeção	Idade média		
	Com calçada	Sem calçada	p-valor
1ª Inspeção	9,68	8,53	0,0000
2ª Inspeção	13,15	12,15	0,0000
3ª Inspeção	16,00	13,14	0,0000

Os valores apresentados na Tabela 5.20 fornecem evidência de que há diferença significativa (com $\alpha=5\%$) entre as idades de postes localizados na região do Centro/Vales e região Metropolitana em diferentes momentos. Na comparação Centro/Vales e Fronteira, há indícios de que os postes passaram a diferir no tempo de sobrevivência a partir da 2ª inspeção. O oposto ocorre na comparação das regiões da Fronteira e Metropolitana, onde há evidências de diferença significativa nas idades dos postes destas duas regiões na primeira inspeção, mas que se equipararam a partir da segunda inspeção.

Tabela 5.20 Idades médias dos postes nas três regiões.

Região	Idade média			p-valor		
	1.Centro/Vales	2.Fronteira	3.Metropolitana	1 x 2	1 x 3	2 x 3
1ª Inspeção	8,43	8,19	9,12	0,4650	0,0102	0,0002
2ª Inspeção	11,80	12,74	12,53	0,0041	0,0074	0,4170
3ª Inspeção	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Os valores apresentados na Tabela 5.21 fornecem evidência de que há diferença significativa (com $\alpha=5\%$) entre as idades de postes tratados com Creosoto e CCA.

Tabela 5.21 Idades médias dos postes conforme o tipo de preservativo de tratamento.

Preservativo	Idade média		p-valor
	1.Creosoto	2.CCA	1 x 2
1ª Inspeção	14,20	8,10	0,0000
2ª Inspeção	17,87	11,76	0,0000
3ª Inspeção	19,79	13,68	0,0000

5.2.5. Modelo de sobrevivência paramétrico

Foi ajustado um modelo paramétrico com distribuição Weibull (VENABLES and RIPLEY, 2002) para a idade1, idade2 e idade3, da forma

$$\log T \sim \beta^T \mathbf{x} + \sigma \log E.$$

A idade1 foi obtida fazendo-se a data da primeira inspeção menos a data de fabricação, ficando com dados faltantes no caso de não haver informação para pelo menos uma das duas variáveis. Para a idade2 utilizou-se a segunda inspeção e para a idade3, a terceira. Os detalhes do modelo paramétrico estão apresentados no Anexo 1. Observa-se que a parametrização é diferente, sendo que o parâmetro de escala é dado por $\exp\{Intercepto\}$ e o parâmetro de forma por $1/Scale$ (detalhamento no anexo 1). A expectativa de vida (EV) é dada pela média das distribuições, onde Γ é a função gama (Equação 7).

$$\text{Eq. (7): } EV = Escala \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{Forma}\right),$$

Na Tabela 5.22 estão apresentados a expectativa de vida e os limites do intervalo de confiança 95%, bem como detalhamento dos parâmetros do modelo paramétrico com distribuição Weibull.

Tabela 5.22 Modelo ajustado para estimar a expectativa de vida dos postes.

Distribuição	Parâmetros		AIC	Expectativa média de vida	Limite inferior	Limite superior
	Escala	Forma				
Weibull	25,89	4,09	-11,40	23,50	23,26	23,73

A expectativa de vida de 23,5 anos diz respeito a durabilidade média esperada para os postes de madeira de eucalipto, considerando o modelo aplicado e suas idades no momento da inspeção.

5.2.6. Modelo de sobrevivência logístico

Foi ajustado um modelo logístico (Agresti, 2007) para a idade1 (Equação 8), tratando postes das classes 1, 2 e 3 como “bons” ou 0 e postes da classe 4 como “ruins” ou 1.

$$\text{Eq. (8): } \log\left\{\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right\} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \dots + \alpha_k X_k,$$

Onde π_i é a proporção de postes ruins, $1 - \pi_i$ a proporção de postes bons e $\pi_i/1 - \pi_i$ é a razão de chances (Tabela 5.23).

Tabela 5.23 Modelo de sobrevivência logístico.

Variável	Coef	Exp(coef)	Pr(> z)	1-exp(coef)
Urbana	1,4459	4,245671528	0,00467	324,6%
CRE	1,1899	3,286752516	1,34E-11	228,7%

Pode-se observar pelo modelo logístico ajustado que, o local e o tipo de preservante são relevantes em relação ao decaimento da classe do poste. Para postes na região urbana, espera-se um aumento de $e^{1.4459} - 1 = 324,6\%$ na razão de chances em comparação a postes da região rural. Para postes tratados com creosoto como preservante, espera-se um aumento de $e^{1.1899} - 1 = 228,7\%$ na razão de chances em comparação a postes tratados com CCA (detalhamento do modelo logístico no anexo 2).

Foram ajustados modelos de Cox (HOSMER and LAMESHOW, 1999; DEGROOT, 1989) para a idade1, idade2 e idade3 (Equação 9).

$$\text{Eq. (9): } h(t) = h_0(t) \exp\{\beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k\}.$$

O modelo ajustado para a idade1 sugere que para postes localizados na fronteira, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.829 = 17.1\%$ menor do que aqueles localizados na região centro/vales (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes localizados na região metropolitana espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.855 = 14.5\%$ menor do que aqueles localizados no centro/vales (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes localizados na região urbana, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.789 = 21.1\%$ menor do que aqueles localizados na zona rural (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes que possuem placa de identificação, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.027 = 97.3\%$ menor do que aqueles que não possuem placa (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes em locais com calçada, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.878 = 12.2\%$ menor se comparado àqueles sem calçada (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes com creosoto espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.485 = 51.5\%$ menor do que aqueles preservados com CCA (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes.

Avaliando-se a idade na segunda inspeção, o modelo sugere que para postes localizados na fronteira, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.712 = 28.8\%$ menor do que aqueles localizados na região centro/vales (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes localizados na região

metropolitana espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.817 = 18.3\%$ menor do que aqueles localizados na região centro/vales (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes que possuem placa de identificação, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.060 = 94.0\%$ menor do que aqueles que não possuem placa (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes em locais com calçada, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.864 = 13.6\%$ menor se comparado àqueles em locais sem calçada (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes com creosoto espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.491 = 50.9\%$ menor do que aqueles preservados com CCA (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes.

Avaliando-se a idade na terceira inspeção, o modelo sugere que para postes em locais com calçada, espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.601 = 39.9\%$ menor se comparado àqueles localizados em locais sem calçada (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes. Para postes com creosoto espera-se uma taxa de mortalidade $1 - 0.456 = 54.4\%$ menor do que aqueles preservados com CCA (categoria de referência), mantidas as demais variáveis constantes.

5.3. Retratamento de postes de madeira

Os resultados referentes aos testes de difusão duas áreas de testes controladas (Triunfo e Canoas) são apresentados a seguir.

5.3.1. Área de testes de Barreto (Triunfo-RS)

Após seis meses de iniciados os testes na área controlada de Barreto (Triunfo-RS), foi retirada uma das peças que havia sido tratada internamente com os bastonetes de Boro/Flúor e da qual fora coletados seis discos com 50 mm de espessura. Nestes discos foi borrifado um indicador colorimétrico para verificação da difusão do Boro, apresentada na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 Colorimetria para Boro em discos de madeira tratada internamente com bastonetes de Boro/Flúor (área de testes de Barreto).

Identificação dos discos	Posição no mourão	Nível de difusão do Boro
Cod. +1	50 a 0 mm acima da linha do solo	~ 40% do cerne da peça
Cod. -1	0 a -50 mm abaixo da linha do solo	~ 80% do cerne da peça
Cod. -2	-50 a -100 mm abaixo da linha do solo	~ 80% do cerne da peça
Cod. -3	-100 a -150 mm abaixo da linha do solo	~ 70% do cerne da peça
Cod. -4	-150 a -200 mm abaixo da linha do solo	~ 40% do cerne da peça
Cod. -5	-200 a -250 mm abaixo da linha do solo	~ 10% do cerne da peça

Pode-se observar que nos discos -1, -2 e -3, que vão desde a linha do solo até 150 mm abaixo desta (faixa mais crítica para o ataque de decompositores da madeira), a difusão do Boro variou entre 70% e 80%. Segundo informações do fabricante do produto preservante é desejável uma concentração mínima de 300 ppm (mg/kg) de Boro, o que representa um nível adequado de fungitoxicidade.

No anexo 3 estão mostrados os resultados quantitativos (concentração de Boro/Flúor) obtidos nas quatro amostragens da área controlada de Barreto, após 6, 18 e 31 e 36 meses da instalação do experimento (Novembro de 2002).

Verifica-se que, os resultados da análise qualitativa (dissolução e cor) não correspondem aos resultados quantitativos (Figura 5.19). As maiores concentrações foram obtidas em 95% de dissolução enquanto que dissoluções completas (100%) apresentam uma ampla gama de concentrações medidas tanto para o Boro (103-880 mg/kg) quanto para o Flúor (<25-240 mg/kg). Esses resultados indicam que a análise colorimétrica apresenta limitações quanto a sua precisão.

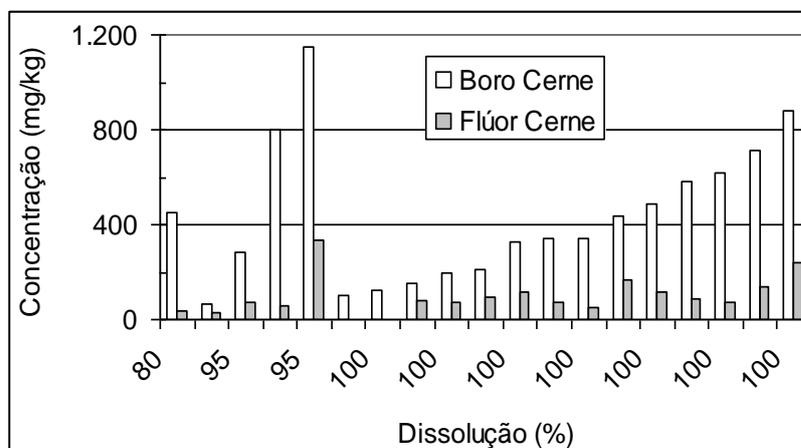


Figura 5.19 Relação entre parâmetros qualitativos (dissolução de Boro) e quantitativos (concentração de Boro) na área de testes de Barreto.

Pelos dados apresentados no anexo 5 observam-se também variações significativas nas concentrações tanto de Boro quanto de Flúor ao longo do experimento, com valores de duas a cinco vezes maiores do Boro em relação ao Flúor. Variações semelhantes também foram verificadas em outros estudos com esse tipo de preservativo (NORTON & STEPHENS, 2005; TURNER & WESSELS, 2001; ESKOM, 2002).

As menores concentrações de Flúor na madeira podem estar relacionadas a menor fixação desse elemento na madeira, quando comparado ao Boro, uma vez que as concentrações iniciais desses elementos no preservativo são próximas (Boro= 124 mg/kg e Flúor= 110 mg/kg).

No anexo 3 são mostrados os perfis de concentração de Boro e Flúor em 18, 31 e 36 meses após o início do teste. Para uma melhor visualização os mourões foram separados em função do tratamento (com ou sem CCA) e retratamentos (interno – bastonetes; externo – bandagem) utilizados.

Como esperado as maiores concentrações de Boro no alburno foram verificadas em mourões retratados com a bandagem. Entretanto, concentrações elevadas foram verificadas na primeira amostragem (18 meses) na região de transição cerne/alburno desses mourões, indicando que a difusão dos elementos da bandagem para o interior da madeira.

A utilização somente do retratamento interno é uma estratégia recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos nos testes indicam níveis acima da fungitoxidade mínima recomendada (300 ppm) somente até 18 meses após a aplicação do produto. Queda significativa na concentração de Boro (~60%) e moderada para o Flúor (20%) foram observadas após em 31 meses do início dos testes. Apesar da presença simultânea de Boro e Flúor em baixas concentrações poder manter a ação preservante, é pouco provável que a mesma se estenda muito além do período analisado. Cabe destacar que as re-inspeções em campo ocorrem em intervalos de tempo muitas vezes superiores a 3 anos. O preservativo utilizado em retratamentos preventivos deveria apresentar uma eficácia garantida de no mínimo esse tempo.

A Figura 5.20 mostra um comparativo entre duas peças sem tratamento prévio com CCA (*in natura*) onde em uma delas (a) foi aplicada a bandagem de Boro/Flúor e a outra (b) permaneceu sem qualquer tipo de produto preservativo. Ao

final dos 36 meses, a amostra “A” encontrava-se em bom estado de conservação enquanto que a amostra “B” estava em estagio avançado de deterioração.



Figura 5.20 Comparativo entre peças com aplicação da bandagem de Boro/Flúor e outro sem, após 3 anos (área de testes de Barreto).

Embora os preservativos de retratamento a base de Boro/Flúor não sejam indicados para tratamento de madeira *in natura* e sim como complemento ao tratamento com CCA, este resultado indica uma boa capacidade do produto na preservação da madeira contra agentes causadores de deterioração.

5.3.2. Área de testes de Canoas

Na área de testes de Canoas foram utilizados preservantes à base de Boro e Boro/Flúor. Na Figura 5.21 (A e B) são mostrados os resultados referentes à análise colorimétrica para detecção de Boro (em vermelho) em diferentes seções transversais (A) e em corte longitudinal (B) de amostras retiradas na área de testes.



Figura 5.21 (A e B) Colorimetria para difusão do Boro (área de testes de Canoas).

Em uma análise preliminar realizada após seis meses de instalação da área de testes foi constatado que, assim como nos resultados da área de testes de Barreto, ocorreu migração do Boro para regiões acima da linha do solo. Como nos mourões instalados nesta área de testes foram utilizadas coberturas de material impermeável (plástico) para evitar a infiltração de água pelo topo, acredita-se que a migração do Boro acima da linha de engastamento se deva a outros fatores que não a umidade vinda de cima das peças de madeira.

Nas peças retiradas para avaliação no final do período do experimento foi verificado que o processo de difusão se deu de forma satisfatória, ocorrendo a impregnação da madeira na sua porção mais crítica para deterioração (até cerca de 50 cm abaixo da linha do solo e cerca de 20 cm acima desta).

Finalmente deve-se destacar que os preservativos a base de Boro/Flúor, por serem apresentados no estado sólido, demonstraram facilidade e segurança no seu manuseio sendo necessário apenas a utilização de luvas para o contato com o produto. Outra vantagem da utilização destes produtos é o fato de que, na sua aplicação, não são gerados resíduos que necessitem destinação especial.

5.4. Testes de resistência mecânica

Foram realizados testes de resistência mecânica à flexão em 77 postes retirados das redes, cujos resultados estão listados no anexo 4. Destes postes ensaiados, 33 peças (43%) possuíam placa de identificação e consequentemente informação sobre sua data de fabricação, a qual variou entre os anos de 1982 e 2004 (Tabela 5.25).

Tabela 5.25 Relação entre as datas de fabricação e as classes dos postes nos quais foram realizados testes de resistência mecânica a flexão.

Classe	Ano de fabricação															Total		
	1982	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1995	1997	1998	1999	2000	2002	2004		s/inf.	
1			1			1		1		1	1	2		1	3	14	25	
2	1					3			2		4						9	19
3												2	1	1			3	7
4		3		2	1		2										18	26
Total	1	3	1	2	1	4	2	1	2	1	5	4	1	2	3	44	77	

Entre os postes ensaiados mais de 77% tinham comprimento de 9 m (Tabela 5.26), pois, conforme um dos critérios de seleção, estes foram priorizados por serem os postes utilizados nas redes de BT. Cerca de 22% dos postes ensaiados tinham comprimento entre 10 e 11 m, que são aqueles utilizados nas redes de média tensão.

Tabela 5.26 Relação entre os comprimentos e as classes dos postes utilizados nos testes de resistência mecânica a flexão.

Compr.	Classes dos postes				Total
	1	2	3	4	
8	1				1
9	22	15	5	17	59
10	1	2		4	7
11	1	2	2	5	10
Total	25	19	7	26	77

Tomando-se por base as quatro classes em que os postes foram enquadrados, quando da última inspeção em campo, observa-se que 66% dos postes ensaiados nos testes de resistência mecânica à flexão pertencem às classes 1, 2 e 3 e 34% a classe 4 (Figura 5.22). Dos postes coletados, 25 peças pertencentes à classe 4 não puderam ser ensaiados pois, devido ao seu avançado estado de deterioração, foram quebrados no processo de retirada da rede ou no manuseio de transporte e armazenamento.



Figura 5.22 Proporção entre as classes dos postes utilizados nos testes de resistência mecânica a flexão.

Quanto ao módulo de resistência à flexão na seção de engastamento (MORf) para os postes das quatro classes, foi verificado que houve proximidade nos valores médios para as classes 1 e 2 (42,4 MPa e 42,2 MPa) respectivamente. Já o desvio padrão para a classe 1 foi de 20,7 MPa e para a classe 2 de 15,8 MPa o que reflete uma menor amplitude nos valores para esta segunda classe. Esta semelhança de resultados em relação ao MORf é explicada pelo fato de que os postes das classes 1 e 2 se apresentam em bom estado de conservação, onde o processo de deterioração da madeira ainda não foi severo o suficiente para comprometer sua resistência mecânica.

Para os postes da classe 3 houve redução de aproximadamente 47% nos valores médios de MORf em relação a classe 2, ficando em 23,0 MPa e um desvio padrão 17,5 MPa. Nos postes da classe 4 a redução dos valores médios de MORf em relação a classe 3 foi de cerca de 48%, ficando em 12,3 MPa, se considerados os 25 postes onde a resistência foi zero. Neste caso o desvio padrão fica em 14,7 MPa, valor elevado e influenciado pelo grande número de postes com resistência zero. Se desconsiderados os postes com resistência zero, o valor médio de MORf fica em 24,2 MPa e o desvio padrão em 11,6 MPa (Figura 5.23). Esta redução dos valores médios de MORf nas classes 3 e 4 se explica pelo avanço no estado de deterioração da madeira que se reflete em perda de resistência mecânica dos postes.

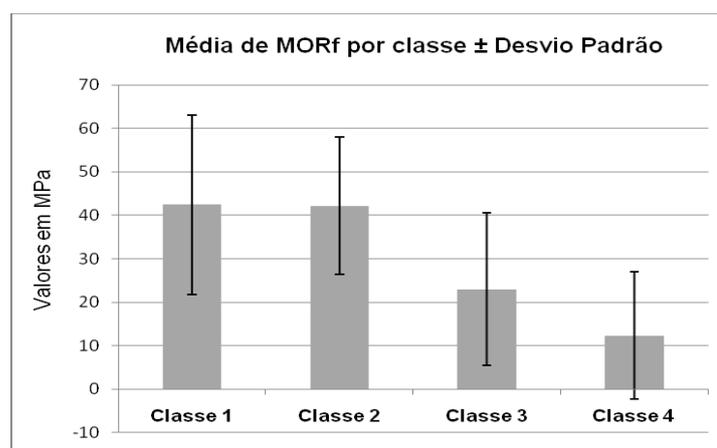


Figura 5.23 Valores médios de módulo de resistência à flexão e desvio padrão de postes das quatro classes.

Em relação ao módulo de elasticidade, assim como no MORf, ocorreu redução nos valores, a medida que avançam as classes (classe 1 em direção a 4),

porém, diferentemente do caso anterior não houve homogeneidade entre as classes 1 e 2. Na classe 2 houve uma redução de aproximadamente 15% no valor de MOEf em relação a classe 1, ficando em 14.435 MPa e um desvio padrão de 9.148 MPa. Já da classe 3 em relação à classe 2, a redução foi de cerca de 47%, ficando em 7.777 MPa e um desvio padrão de 6.667 MPa.

Da classe 4 para a classe 3, a redução nos valores de MOEf ficou em 47%, resultando num valor de 4.155 MPa e um desvio padrão de 5.399 MPa, considerando os postes com resistência zero (Figura 5.24). Se considerados apenas os postes classe 4 ensaiados verifica-se um valor médio para MOEf de 8.150 MPa e desvio padrão de 4.943 MPa.

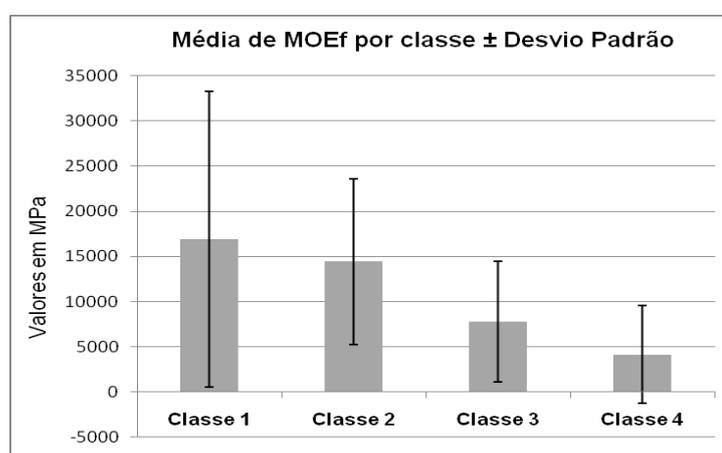


Figura 5.24 Valores médios de módulo de elasticidade e desvio padrão de postes das quatro classes.

No trabalho realizado por ARRUDA (2006), o autor comparou postes novos de três espécies de eucalipto (*E. grandis*, *E. saligna* e *C. citriodora*) e concluiu que *C. citriodora* apresentou resultados de resistência mecânica superiores as outras duas espécies, obtendo um valor médio para módulo de elasticidade de 13.800 MPa. Comparando os resultados para módulo de elasticidade obtidos nestes testes, com os obtidos por ARRUDA (2006), verifica-se que os valores médios obtidos para MOEf, nas classes 1 e 2 são compatíveis com postes novos de *E. citriodora*.

Considerando-se os resultados para MORf e MOEf comparado entre as classes fica evidente a separação dos postes ensaiados em dois grupos:

- postes das classes 1 e 2 com valores médios para MORf de 42,3 MPa e de 15.682 MPa para MOEf;

- postes das classes 3 e 4 com valores médios para MORf de 17,6 MPa e de 5.966 MPa para MOEf

Esta separação entre os dois grupos se explica pelos diferentes estados de conservação dos postes: o primeiro é formado por postes em bom estado de conservação ou em estágio inicial de deterioração da madeira. No segundo grupo estão incluídos postes em estado de deterioração da madeira mais avançado o que se reflete em menores valores de resistência mecânica.

A Tabela 5.27 apresenta os valores p para o teste de normalidade e homocedasticidade. Com o teste Kruskal-Wallis foi comparada a mediana das classes para ambas as variáveis.

Tabela 5.27 Comparação de teste de normalidade e homocedasticidade entre as variáveis MORf e MOEf de postes submetidos a testes de resistência mecânica a flexão.

Classes	MORf (Mpa)		MOEf (MPa)	
	P-valor Normalidade*	P-valor Homocedasticidade	P-valor Normalidade*	P-valor Homocedasticidade
Classe 1	0,167		0,000	
Classe 2	0,571		0,009	
Classe 3	0,322	0,027	0,003	0,009
Classe 4	0,406		0,000	

*Teste de Shapiro Wilk

Na Tabela 5.28 verifica-se que, para a variável MORf, houve diferença significativa entre as classes dos postes (p -valor 0,002), ou seja, há evidência de que a mediana deste variável se difere significativamente entre pelo menos duas classes de postes.

Tabela 5.28 Resultados de MORf para as classes dos postes utilizados nos teste Kruskal-Wallis.

Classes	MORf (Mpa)			
	Média	Desvio Padrão	Estatística de Teste	P-valor
Classe 1	42,4	20,7		
Classe 2	42,2	15,8		
Classe 3	23,0	17,5	15.015	0,002
Classe 4	12,3	14,7		

Teste Kruskal-Wallis

Nas comparações múltiplas para MORf, realizadas entre as classes dos postes, verificou-se que, pelo método de Dunn as diferenças significativas foram encontradas quando comparada a classe 4 com as classes 1 e 2 (Tabela 5.29).

Tabela 5.29 Resultados de MORf para comparação múltipla entre as classes com utilização do teste de Dunn.

Variável MORf			
Teste de Dunn para comparações múltiplas			
Classes comparadas	Diferença observada	Diferença crítica	Decisão*
1 - 2	0,9977778	18,24514	FALSE
1 - 3	15,6550000	23,97514	FALSE
1 - 4	20,3953846	16,53285	TRUE
2 - 3	16,6527778	25,07983	FALSE
2 - 4	21,3931624	18,09767	TRUE
3 - 4	4,7403846	23,86311	FALSE

*Onde TRUE significa que há diferença a 5%.

Para a variável MOEf, houve diferença significativa entre as classes de postes (p-valor 0,03), ou seja, há evidência de que a mediana para esta variável se difere entre pelo menos duas classes (Tabela 5.30).

Tabela 5.30 Resultados de MOEf para as classes dos postes utilizados nos teste Kruskal-Wallis.

Classes	MOEf (MPa)			
	Média	Desvio Padrão	Estatística de Teste	P-valor
Classe 1	16929,57	16388,59	8,950	0,030
Classe 2	14071,18	9270,61		
Classe 3	9427,91	7739,84		
Classe 4	4154,95	5398,86		

Teste Kruskal-Wallis

Nas comparações múltiplas para MOEf realizadas entre as classes, verificou-se que, pelo método de Dunn as diferenças significativas foram encontradas comparando as classes 1 e 4(Tabela 5.31).

Tabela 5.31 Resultados de MOEf para comparação múltipla entra as classes com utilização do teste de Dunn..

Classes	Variável MOEf		
	Teste de Dunn para comparações múltiplas		
	Diferença observada	Diferença crítica	Decisão
1 - 2	3,795556	18,24514	FALSE
1 - 3	15,24	23,97514	FALSE
1 - 4	17,086154	16,53285	TRUE
2 - 3	11,444444	25,07983	FALSE
2 - 4	13,290598	18,09767	FALSE
3 - 4	1,846154	23,86311	FALSE

*Onde TRUE significa que há diferença a 5% de nível de significância.

A Tabela 5.32 apresenta os resultados dos postes ensaiados, com placa de identificação, separados pelo ano de fabricação, com seus respectivos valores médios para módulo de resistência à flexão. Comparando-se as datas de fabricação pode-se verificar variabilidade entre os resultados: um poste fabricado em 1982 (quase 30 anos em serviço) apresentou módulo de resistência de 31,6 MPa ao passo que um fabricado em 2004 (sete anos em serviço) com módulo de resistência de 9,9 MPa.

A variação de valores entre as idades dos postes está relacionada a sua classificação, uma vez que é comum ser encontrada variabilidade entre as classes e o tempo em serviço dos postes, associado ainda ao fato já citado da priorização de determinadas espécies no uso em postes no período anterior a 1997 (ano da privatização de parte da distribuição de energia no estado do RS).

Tabela 5.32 Valores médios (em MPa) dos testes de flexão para MORf em postes identificados por data de fabricação.

Ano de fabr.	1982	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1995	1997	1998	1999	2000	2002	2004
Média em MPa	31,7	15,7	34,6	27,0	29,3	29,6	34,2	59,2	53,8	80,7	46,0	20,2	46,0	20,0	23,2

Em relação ao comprimento dos postes ensaiados observa-se que não houve variação significativa para os valores médios de módulo de resistência a flexão. Já para o módulo de elasticidade ocorreu pequena variabilidade entre os postes de 8, 9 e 10 m, sendo que para os postes de 11 m ocorreu um aumento de aproximadamente 40% em relação aos outros comprimentos (Tabela 5.33). Este resultado pode ser explicado pelo maior porte destes postes (diâmetro médio e comprimento).

Tabela 5.33 Resultados médios dos testes de flexão para MORf e MOEf em postes identificados por comprimento.

Comprimento	MORf	MOEf
8 m	34,6	12010
9 m	34,8	11859
10 m	33,0	11957
11 m	33,2	16861

Assim como observado no trabalho de reinspeções dos postes, nos testes de resistência mecânica a flexão, foi constatado um elevado percentual destas estruturas sem placas de identificação (57%), o que limita as análises que envolvem a variável idade dos postes em serviço.

A falta de um sistema de identificação permanente, que permita a rastreabilidade dos postes, desde a sua fabricação até o seu descarte final, foi um fator que limitou as análises neste estudo, pois em torno de 60% dos postes inspecionados não possuem placa de identificação. O sistema de identificação para coleta dos postes, com tinta esmalte vermelha apresentou deficiência em cerca de 18% dos casos onde houve dificuldade de identificação da sua numeração, quando da realização dos referidos testes.

O sistema de identificação por Rádio Frequência (RFID) utilizando pequenos *Tags* encapsulados em vidro, fixados internamente aos postes poderia ser uma alternativa na solução da sua rastreabilidade. Este sistema foi testado com resultados satisfatórios em postes das redes do município de Canoas, durante a fase 2 do projeto de pesquisa (2004/2006).

6. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu, depois de inspecionados e testados um representativo número de postes de madeira de eucalipto, a obtenção de importantes resultados sobre o seu processo de deterioração e resistência mecânica, quando em serviço. Caracterizado pelas mudanças entre classes em relação as inspeções anteriores.

- Os dados das inspeções resultaram num diagnóstico sobre o estado geral de conservação dos postes em serviço na área de amostragem o qual, se levado em conta, pode auxiliar na gestão do sistema de distribuição de energia elétrica, tornando-o mais estável e menos sujeito a falhas. É importante ressaltar que falhas nos postes muitas vezes resultam em interrupções no fornecimento de energia elétrica, além de representar riscos a segurança de trabalhadores do setor e da população em geral;
- A avaliação estatística referente aos resultados das reinspeções, indica dados que devem ser levados em conta na gestão dos ativos das redes na área do estudo:
 - ▶ Os postes localizados na região Centro/Vales foram os que apresentaram menor expectativa de vida útil, quando comparados com os das regiões Fronteira e Metropolitana. Logo os postes desta primeira região deverão receber maior atenção com relação a manutenção e controle;
 - ▶ Os postes localizados na zona rural apresentaram menor expectativa de vida útil quando comparados com os da zona urbana. Este resultado se explica em parte pelo fato de que os postes implantados em local com calçada apresentaram probabilidade de sobrevivência maior do que aqueles em local sem calçada. Na zona rural não foram encontrados postes em calçadas;
- A constatação de vem crescendo o número de postes, (classe 4), e por consequência diminuindo o número de postes (classe1) em serviço na área

amostrada pode indicar uma taxa insuficiente de substituição dos postes. Este é um aspecto a ser visto com atenção, uma vez que se trata de um item preponderante na manutenção do bom estado do sistema de distribuição como um todo;

- O elevado número de postes em serviço sem placa de identificação (mais de 60%) sugere a necessidade de um sistema permanente, que permita sua rastreabilidade, desde a fabricação até o descarte final. Este foi um fator limitante nas análises estatísticas que tratam do tempo em serviço dos postes, tanto nos resultados sobre reinspeções quanto sobre os testes de resistência mecânica. O sistema de identificação dos postes por Rádio Frequência (RFID), utilizando pequenos *Tags* encapsulados em vidro e que são fixados internamente aos postes (Arruda, 2006), testado na fase 2 do projeto de pesquisa ao qual este estudo está vinculado, poderia ser uma alternativa de solução na identificação e rastreabilidade dos postes;
- Quanto ao tipo de substância preservante utilizada no tratamento dos postes, os resultados estatísticos vem a confirmar um dado que empiricamente é de conhecimento geral no setor elétrico: postes tratados com creosoto apresentam durabilidade superior aos tratados com CCA. Os resultados apontam para uma taxa de durabilidade cerca de 50% maior nos postes tratados com creosoto em relação aos tratados com CCA;
- Os testes de resistência mecânica realizados em postes em diferentes estágios no processo de deterioração foram relevantes para relacionar o estado de conservação com sua respectiva perda de resistência mecânica. Com bases nos resultados obtidos foi possível identificar dois grupos distintos, tanto para módulo de resistência na seção de engastamento (MORf) como para módulo de elasticidade da madeira (MOEf): um primeiro grupo com valores médios mais elevados, formado por postes em bom estado de conservação pertencentes as classes 1 e 2 e, um segundo grupo em que o estado de deterioração da madeira encontra-se mais avançado (classes 3 e 4), com valores médios mais baixos para os parâmetros citados;
- Os resultados sobre o acompanhamento realizado no sistema de produção de postes novos indicou falhas no processo de fabricação, como postes onde os níveis de retenção de CCA encontravam-se abaixo do mínimo estabelecido em norma. A quantidade de substância preservante retida num poste de

madeira está relacionada diretamente com sua durabilidade. É fundamental um bom controle no processo de fabricação dos postes de madeira de forma a mantê-lo no mercado como uma alternativa com boa relação custo/benefício se comparado aos postes fabricados com outros materiais;

- Em síntese pode-se concluir que os postes de madeira de eucalipto, desde que produzidos dentro de padrões de qualidade adequados, podem apresentar durabilidade superior ao mínimo de 15 anos, estabelecido na NBR 8456, o que faz deste material uma alternativa bastante atraente para este uso. É importante destacar que esta afirmativa é feita com base nos resultados obtidos para a amostragem trabalhada e dentro da escala temporal abrangida pelo estudo, sobre os quais o modelo estatístico utilizado foi baseado, apontando para uma sobrevivência destes postes superior a 23 anos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização de estudos semelhantes, abrangendo aspectos sobre a resistência e durabilidade de postes em serviço, em outras áreas do estado poderiam contribuir na construção de um perfil geral destas estruturas no Rio Grande do Sul.

Um estudo sobre a durabilidade e resistência mecânica dos postes de concreto que estão sendo utilizados, tornaria possível traçar um comparativo com os postes de madeira e, dessa forma, avaliar com mais propriedade as vantagens de um material sobre o outro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT,1997.107 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5426: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro: ABNT, janeiro de 1985.63 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6231: Postes de Madeira – Resistência à Flexão. Rio de Janeiro: ABNT, dezembro de 1980.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6232: Penetração e Retenção de Preservativo e Postes de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, dezembro de 1973.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8456: Postes de Eucalipto Preservado para Redes de Distribuição. Rio de Janeiro: ABNT,1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8457: Postes de Eucalipto Preservado para Redes de Distribuição. Rio de Janeiro: ABNT,1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Proposta de Revisão das NBRs 8456 e 8457.

AGRESTI, A. **An Introduction to Categorical Data Analysis**. John Wiley & Sons, 2007.

ALENCASTRO, J. I. D. **Caracterização Mecânica de Postes de Eucalipto Utilizados em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Física e Química, PUCRS, Porto Alegre.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles**. Designation D 1036 – 90, EUA, ASTM, 1990.

ARRUDA, R. P. **Melhorias no Método de Inspeção de Postes de Madeira por Meio da Identificação por Rádio Frequência e do Estudo de suas Propriedades Mecânicas**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Física e Química, PUCRS, Porto Alegre.

ARRUDA, R. P. et al. Estudo sobre a caracterização de postes de madeira utilizados em linhas de transmissão de energia através de ensaios de flexão e compressão. In: **17 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais**: 2006, Foz do Iguaçu-PR, 2006, p. 2978-2989.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Specification for Coal-Tar Creosote for the Preservative Treatment of Piles, Poles, and Timbers for Marine, Land, and Freshwater Use**. D 390 - 96. EUA, ASTM, 1996.

AS 1605 - AUSTRALIAN STANDARD – 1974 “Sampling and Analysis of Wood Preservatives and Wood Preservative Treated Timber”.

AWPI - AMERICAN WOOD PRESERVERS INSTITUTE. **Transition to New Generation of Wood Preservatives: Questions and Answers**. Virginia, 2002.

BALLARIN, A. W. & NOGUEIRA, M. **Caracterização Elástica da Madeira de *Eucalyptus citriodora***. Cerne, V. 9, N. 1, p. 66-80, 2003.

BANDYOPADHYAY, J. & SHIVA, V. Inventário Ecológico sobre o Cultivo do Eucalipto. Disponível em: http://www.almg.gov.br/Publicacoes/Eucalipto/brasil_minas.pdf Acesso em: 22 março 2010.

BARADIT, E. et al. Knots Detection in Wood Using Microwaves. **Wood Sci Technol**, v. 40, p. 118-123, 2006.

BONONI, V. L. R. **Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos**. São Paulo, Instituto de Botânica, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 1998. 184p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Anexo 1 - Nota Técnica 107/2009 – SRE-ANEEL, Anexo 1 - Nota Técnica 108/2009 – SRE-ANEEL, Anexo 1 - Nota Técnica 320/2009 – SRE-ANEEL.

BRAZOLIN, S. et al. **Madeira Preservada no Ambiente Construído: Cenário Atual e Tendências**. III ENECS - Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2003.

BRAZOLIN, S. & FILHO, M. T. **Alterações na Estrutura Anatômica de Madeira de *Tabebuia* sp. (Ipê) de Torre de Resfriamento de Água, por Fungos de Podridão Mole**. Scientia Florestalis, n. 55, p. 97-105, 1999.

BUSNARDO, C. A. et al. Estudo Comparativo da Qualidade da Madeira de Algumas Espécies de Eucaliptos Tropicais. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>>. Acesso em 20 janeiro 2010.

CAPELETTO, J. G. et al. **Retratamento de Postes – A Experiência da CEEEEE**. In: 3º Encontro Brasileiro em Preservação de Madeira, 1989, São Paulo. *Anais*. p. 171-5.

CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DE SANTA CATARINA - CEPA-EPAGRI. Agroindicadores. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/agroindicadores/>>. Acesso em: 11 março 2010.

CLUBBE, C. P. **The colonization and succession of fungi in wood**. Stockholm, The International Research Group on Wood Preservation, 1980.

CPFL - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Inspeção e Manutenção Preventiva e Corretiva em Postes de Madeira**. Orientação Técnica. São Paulo: CPFL, 2001.

DATLA S. V. & PANDEY M. D. **Estimation of life expectancy of wood Poles in Electrical Distribution Networks**, Waterloo, ON, Canada N2L 3G1, 2005.

DEGROOT, M. H. and SCHERVISH, M. J. **Probability and statistics**. Addison-Wesley Reading, MA, 1989.

DUNN, O. J. **Multiple comparisons using rank sums**. Technometrics Los Angeles, USA, 1964, v. 6, p. 241-252.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Whitman Announces Transition From Consumer Use of Treated Wood Containing Arsenic**. Washington, 2002.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, Relatório: Situação das Florestas no Mundo. 2009, Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 10 março 2010.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Datos y Cifras, Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry>>. Acesso em: 10 março 2010.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Los Bosques. 2007, Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry>>. Acesso em: 18 junho 2010.

FERREIRA, F. A.; MILANI D. **Avaliação de Resistência de Clones de Eucalipto às Infecções Naturais de *Cryphonectria cubensis* com Nova Tecnologia.** *Árvore*, v.28, n.2, p.313-316, 2004.

FOELKEL, C. et al. Avaliação da Qualidade da Madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* Afetados por Cancro. **Graus Celsius**, Artigos e Palestras, 1976. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>>. Acesso em 20 janeiro 2010.

FOELKEL, C. **Qualidade da Madeira.** Apostilas do Curso de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa-MG. 1977.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook:** Wood as an engineering material. General Report FPL-GTR-190 Madison, WI: U. S., 2010. Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, 508 p.

GARCIA, A. et al. **Ensaio dos Materiais:** São Paulo, LTC, 2000.

GERALDO, F. C. **Poste de madeira alavanca eletrificação.** Revista da Madeira, maio, 2001.

GERALDO, F. C. A madeira de eucalipto para postes. São Paulo: ABPM, 2003. Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/oqepm.htm>> Acesso em: 20 março 2009.

GUSTAVSEN, B.; ROLFSENG, L. **Asset management of wood pole utility structures**. Elsevier, p. 641-646, 2005.

HORWOOD, M. A.; GARDNER, W. D. **A Service Trial of the Effect of Mechanical and Chemical Variations to the Bioguard Bandage on Efficacy and Environmental Performance**, State Forests of New South Wales, Australia, 2002.

HOSMER, D. W. and LEMESHOW, S. **Applied survival analysis: regression modeling of time to event data**. Wiley, New York, 1999.

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).

JONES, D. I. et al. A laboratory test-bed for an automated power line inspection system. **Elsevier**, p. 835-851, 2004.

KRATSCHMANN, D. E. Mechanical Properties of Wood In: **Wood handbook**: Washington: U.S.D.A. 2010, p. 100-145.

LEPAGE, E. S. et al. **Manual de Preservação de Madeiras: Vol. I e II**. São Paulo, IPT – Divisão de Madeiras, 1986.

MACHADO, J. S. Evolução Recente em Portugal do Mercado de Produtos Lenhosos para a Construção. **Núcleo de Estruturas da Madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil**. Lisboa, Portugal, 2008. p. 1-8.

MACIEL, G. M. **Bioprospecção de Fungos Causadores da Podridão Branca da Madeira**. Campo Mourão, 2010.

MALUF, R. W. **Fungos Endófitos de Madeira em Troncos de Árvores Vivas de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

MESQUITA, J. et al. **Microbiota Associada à Madeira Serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Durante a Secagem ao Ar Livre**, Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 45-50, 2006.

EMBRAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Dinâmica do Desmatamento, 2009, Disponível em: <<http://www.desmatamento.cnpm.embrapa.br>> Acesso em: 11 março 2010.

MONTGOMERY, D. C. and RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. Wiley, New York, 2003.

MORRELL, J. J. **Wood Pole Maintenance Manual**, Forest Research Laboratory, Oregon State University: Corvallis, 1996.

OSHA - U. S. DEPARTMENT OF LABOR: Occupational Safety & Health Administration. **Methods of Inspecting and Testing Wood Poles**, 1910.269 App D, 2003.

OSUNKOYA O. O. et al. Variation in wood density, wood water content, stem growth and mortality among twenty-seven tree species in a tropical rainforest on Borneo Island. **Austral Ecology**, v. 32, p. 191-201, 2007.

PERELLO, L. F. **Diagnóstico Ambiental e Propostas para o Incremento da Biodiversidade em Área de Reflorestamento**. São Leopoldo: UNISINOS, 2002. Relatório de Pesquisa.

PIRES, M. J. R. et al. Projeto Otimização de Processos de Inspeção e Retratamento de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Energia Elétrica. Porto Alegre: PUCRS, 2006.

REMADE: Revista da Madeira. **O eucalipto – espécie de uso múltiplo**. São Paulo: Editora, n.116, ano XVIII, set. 2008.

REMADE: Revista da Madeira. **Espécies de eucalipto**. São Paulo: Editora, n.59, ano XI, set. 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010), R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<http://www.R-project.org>> ISBN 3-900051-07-0.

SALES, A. et al. Procedimentos para o Aumento da Durabilidade de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Distribuição. In: **II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica**: 2003, Salvador. Anais Citenel. Salvador, 2003, p. 567-569.

SANDOZ, J. L.; BENOIT, Y. The Importance of the Nondestructive Technologies for Wooden Poles Network Asset Management. **University of Applied Sciences**, Eberswalde, Germany, 2005.

SANDOZ, J. L.; BENOIT, Y. Non-Destructive Evaluation for New Wooden Poles Quality Assessment. CBS-CBT, Switzerland, 2009.

SHESKIN, D. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. 3ª ed. USA, 2004.

SIEGEL, S. and CASTELLAN, J. N. J. **Nonparametric statistics for the behavioural sciences**. MacGraw Hill Int., New York. P. 213-214, 1988

SILVA, D. I. D. Resistência Mecânica de Pontaletes de Eucalipto. Minas Gerais: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, 2007. 3p. (Série Resposta Técnica).

SOLO, H. M. et al. **Alternative Chemicals and Improved Disposal-End Management Practices for CCA-treated Wood**. Flórida-EUA: University Florida, Gainesville, FL, 2000. Final Draft.

SOTELO, R. D. Determination of elastic properties of clear wood by the homogenization method in two dimensions. **Wood Sci Technoll**, v. 39, p. 385-417, 2005.

TSANG, K. M.; CHAN, W. L. **Overhead line wooden pole condition sensing by acoustic method**. Elsevier, Sensors and Actuators A 143, p. 251-255, 2008.

VENABLES, W. N. and RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. Springer Verlag, 2002.

VIDOR, F. 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.

VIDOR, F. L. R., PIRES, Marçal R., DEDAVID, Berenice A., ARRUDA, Rodrigo P., KLUNK, Marcos & MONTANI, Pedro. **Proposed Methodological for Inspection and Retreatment of wooden Poles in Electrical Power Distribution Networks**. IEEE Transactions and Journals, 2008.

WOODWARD, L. J. **Effective Management of Timber Power Poles**. Cheltenham: Preschem, 1998. Relatório de Pesquisa.

ZELINKA, S. L. et al. Direct Current Testing to Measure Corrosiveness of Wood Preservatives. **US Department of Agriculture, Forest Service**, Madison, USA, 2006

ZENI, T. L. et al. **Isolamento de Fungos Xilófagos Causadores de Podridão Branca na Madeira de *Eucalyptus* sp.** Embrapa Colombo-PR, 2004
Comunicado Técnico.

ANEXOS

Anexo 1 - Modelo de sobrevivência paramétrico

Modelo Weibull

Call: survreg(formula = Surv(idade1.temp, mau1) ~ 1)

	Value	Std. Error	z	p
(Intercept)	3.25	0.0247	131.8	0.00e+00
Log(scale)	-1.41	0.0470	-30.0	3.07e-197

Scale= 0.245

Weibull distribution

Loglik(model)= -812.9 Loglik(intercept only)= -812.9

Number of Newton-Raphson Iterations: 10

n= 2954

AIC= -11.40133

Anexo 2 - Modelo logístico

Call:

```
glm(formula = maul.log ~ logi$local + logi$preserv, family = binomial)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	-4.3718	0.5047	-8.662	< 2e-16	***
logi\$localUrbana	1.4459	0.5111	2.829	0.00467	**
logi\$preservCRE	1.1899	0.1759	6.765	1.34e-11	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

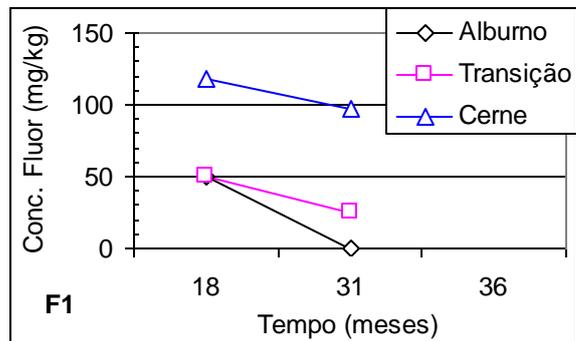
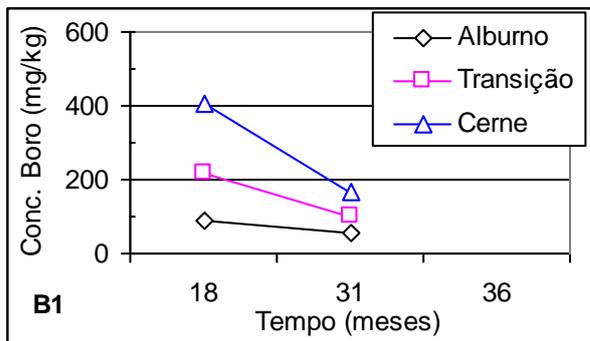
Null deviance: 1323.0 on 2953 degrees of freedom

Residual deviance: 1266.6 on 2950 degrees of freedom

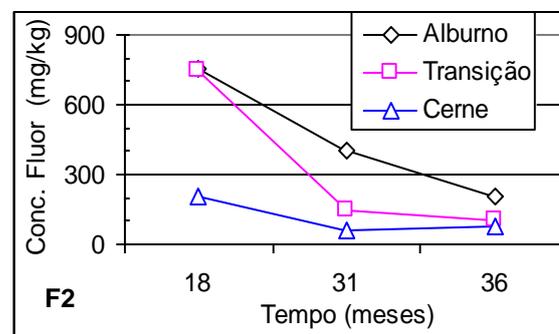
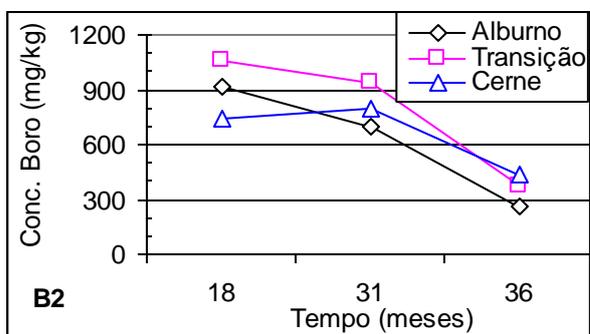
AIC: 1274.6

Anexo 3 – Concentrações de Boro e Flúor em amostras de madeira

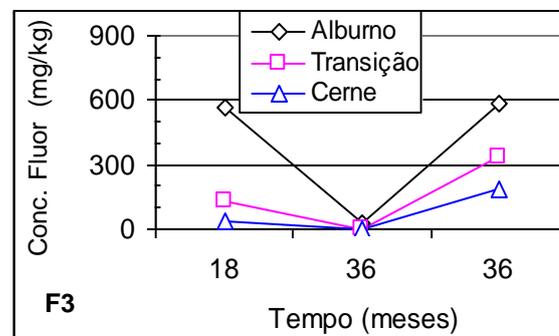
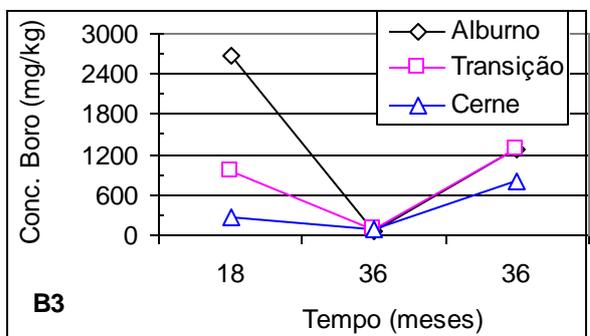
Mourões tratados com CCA e retratados internamente com *Polesaver*.



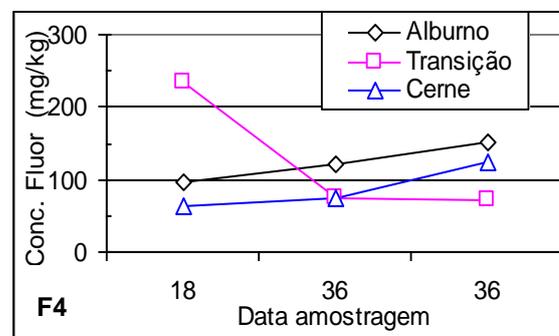
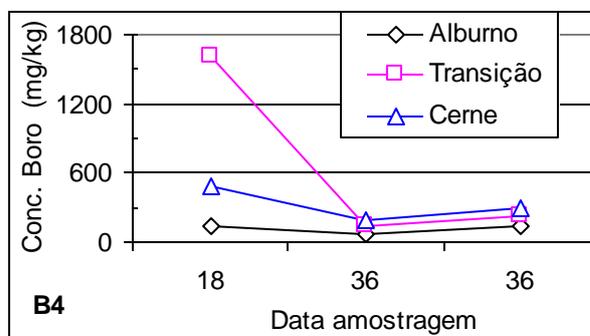
Mourões tratados com CCA e retratados externamente com Bioguard.



Mourões não tratados (sem CCA) e retratados com Bioguard.



Mourões tratados com CCA e retratados externamente com Bioguard e internamente com Polesaver.



Anexo 4 – Resultados dos testes de flexão dos postes coletados, ordenados por classe.

Nº Poste	Compr. (m)	Ano Fabr.	Umid. (%)	Circ. Base (cm)	Circ. Topo (cm)	Flecha X (cm)	Flecha Y (cm)	P (kgf)	P (N)	L Compr. (cm)	MORf (Mpa)	MOEf (MPa)	Preserv.	Classe
6765	11	1997	20,3	67	57	40	15	829	8130	945	80,68	66182	CCA	1
6856	9		32,2	59	49	52	4	641	6290	756	73,13	34354	CRE	1
6857	9		30,4	79	60	24	1	1674	16420	759	79,83	66891	CCA	1
6858	9		18,8	71	51	53	3	610	5980	757	39,95	17737	CCA	1
7107	9		22,8	70	65	40	2	294	2880	758	20,10	9303	CCA	1
7112	9		23,4	60	49	87	9	331	3245	751	35,63	9874	CRE	1
7240	8	1987	45,6	70	55	45	20	600	5880	640	34,65	12010	CRE	1
7242	9		22,4	65	49	65	5	702	6880	755	59,74	22392	CRE	1
9632	9		21,4	63	50	70	3	554	5430	757	51,92	17804	CCA	1
9635	9		17,2	66	50	67	4	662	6495	756	53,94	19274	CCA	1
9682	9		25,5	62	50	82	5	766	7515	755	75,19	21894	CRE	1
9697	9		29,4	63	58	85	8	513	5035	752	47,82	11489	CRE	1
9762	10		29	74	58	49	2	393	3850	858	25,75	13967	CRE	1
10731	9	2002		59	48	80	10	286	2800	750	32,29	9908	CCA	1
10733	9	2004	32,1	69	55	45	3	139	1360	757	9,90	4800	CCA	1
10777	9	1991	21	78	58	90	6	347	3405	754	17,09	3898	CCA	1
10790	9			71	57	56	5	322	3155	755	21,02	7862	CCA	1
10791	9	1999		70	63	32	4	232	2275	756	15,84	9403	CCR	1
10792	9	1999	35,2	78	66	42	1	719	7055	759	35,64	15512	CCA	1
	9	1993				39	3	800	7845	757	59,23	11.242	CRE	1
	9	1998				69	5	700	6865	755	59,44	8.183	CRE	1
	9	2004				24	7	800	7845	753	27,12	6.119	CCA	1
	9	2004				62	5	450	4413	755	32,55	6.889	CCA	1

Nº Poste	Compr. (m)	Ano Fabr.	Umid. (%)	Circ. Base (cm)	Circ. Topo (cm)	Flecha X (cm)	Flecha Y (cm)	P (kgf)	P (N)	L Compr. (cm)	MORf (Mpa)	MOEf (MPa)	Preserv.	Classe
	9	s/inf.				42	6	610	5982	754	36,56	8.116	CCA	1
	9	s/inf.				62	5	450	4413	755	35,31	8.138	CCA	1
7090	9	1982	51,8	61	46	119	15	312	3055	745	31,67	6725	CRE	2
7106	9	1998	27,5	58	50	83	5	468	4585	755	56,03	16120	CCA	2
7113	9		18,7	64	46	45	3	158	1550	757	14,14	8196	CRE	2
9692	9		28,3	77	64	50	3	390	3825	757	20,03	7513	CCA	2
9716	9		17,1	72	54	65	4	765	7505	756	48,01	16373	CRE	2
9717	9		13,5	73	61	30	1	952	9340	759	57,55	37946	CRE	2
9719	9	1998	27,2	62	51	56	3	424	4160	757	41,73	17537	CCA	2
9720	9	1998	20,2	61	49	92	5	395	3870	755	40,66	10767	CCA	2
9721	9	1998	23	63	49	84	2	343	3365	758	32,22	9419	CCA	2
9793	9		25,3	70	58	48	10	851	8350	750	57,66	24402	CRE	2
10775	10	1991	14,5	72	55	74	5	329	3230	855	23,37	8791	CCA	2
10779	11	1991	18,9	80	68	35	2	738	7235	958	42,75	34530	CCA	2
	11	1991				50	11	700	6865	949	35,10	7.785	CCA	2
	9	1995				66	4	520	5099	756	46,27	8.789	CCA	2
	10	1995				55	7	180	1765	853	61,33	10.391	CCA	2
	9	s/inf.				43	3	800	7845	757	54,26	9.873	CCA	2
	9	s/inf.				48	7	370	3628	753	24,32	7.728	CCA	2
	9	s/inf.				37	6	560	5492	754	40,09	10.397	CCA	2
	9	s/inf.				32	9	720	7061	751	74,28	20.985	CRE	2
7079	9		33,5	91	77	80	10	130	1275	750	4,01	766	CCA	3
9640	9		16,2	66	56	46	4	568	5575	756	46,30	21515	CRE	3
10778	11	2002	24,6	83	64	61	4	151	1480	956	7,82	3832	CCA	3
10789	9	1999	36	67	50	44	6	160	1570	754	12,43	6728	CCA	3

Nº Poste	Compr. (m)	Ano Fabr.	Umid. (%)	Circ. Base (cm)	Circ. Topo (cm)	Flecha X (cm)	Flecha Y (cm)	P (kgf)	P (N)	L Compr. (cm)	MORf (Mpa)	MOEf (MPa)	Preserv.	Classe
10793	9	1999	32,8	72	62	60	2	271	2660	758	17,06	5519	CCA	3
	11	2000				52	12	780	7649	948	46,07	9.897	CCA	3
	9	s/inf.				34	8	600	5884	752	27,36	6.181	CRE	3
6816	11	1985	33,6	76	50	96	5	264	2585	955	17,76	7068	CCA	4
6830	11		46,5	73	62	137	7	268	2630	953	20,35	4557	CRE	4
6840	9	1985		71	50	130	22	120	1180	738	7,68	1349	CRE	4
6859	9			79	52	70	4	555	5440	756	26,34	8663	CCA	4
6860	9	1985	23,9	83	61	43	3	526	5155	757	21,55	9863	CCA	4
7077	9		43	69	56	50	8	47	460	752	3,33	1407	CCA	4
7082	9		44,2	62	48	57	15	351	3445	745	34,01	14450	CRE	4
7084	9			80	59	40	3	525	5150	757	24,05	12230	CCA	4
7234	11		12,1	81	55	70	5	198	1945	955	11,04	5477	CCA	4
9528	10		18,4	85	70	36	1	746	7320	859	32,34	19831	CRE	4
9529	10		22,2	82	59	80	3	171	1680	857	8,25	2688	CCA	4
9637	9		33,4	69	52	100	1	53	520	759	3,79	880	CRE	4
9722	9		20,4	60	47	52	4	92	900	756	9,95	4873	CRE	4
10787	11		47	83	61	68	7,5	645	6325	952,5	33,28	15244	CRE	4
10788	10		32,7	61	43	104	5	302	2960	855	35,21	12056	CCA	4
	9	1989				79	7	380	3727	753	31,23	6.964	CCA	4
	9	1989				36	6	510	5001	754	22,70	5.786	CRE	4
	9	1990				48	8	480	4707	752	29,33	6.636	CCA	4
	9	1992				76	6	390	3825	754	23,28	4.333	CRE	4
	10	1992				55	9	450	4413	851	45,11	15.976	CRE	4
	9	s/inf.				53	7	350	3432	753	17,58	4.834	CRE	4
	9	s/inf.				77	4	520	5099	756	39,22	6.663	CCA	4

Nº Poste	Compr. (m)	Ano Fabr.	Umid. (%)	Circ. Base (cm)	Circ. Topo (cm)	Flecha X (cm)	Flecha Y (cm)	P (kgf)	P (N)	L Compr. (cm)	MORf (Mpa)	MOEf (MPa)	Preserv.	Classe
	9	s/inf.				44	6	700	6865	754	37,31	6.854	CRE	4
	9	s/inf.				66	5	350	3432	755	28,44	8.166	CCA	4
	9	s/inf.				26	7	550	5394	753	29,42	11.020	CRE	4
	11	s/inf.				52	13	480	4707	947	36,85	14.035	CCA	4

P: Carga de ruptura em quilograma-força (kgf);

P: Carga de ruptura em Newton (N);

MORf : Módulo de resistência a flexão da madeira na seção de engastamento (MPa);

MOEf: Módulo de elasticidade (MPa).

Anexo 5 - Difusão de boro e flúor em mourões na Área Controlada de Barreto.

Data Amostragem	Mourão	Trat./ Retrat. ^a	Dissolução (%)	Cor ^b	Boro (mg/kg)			Flúor (mg/kg)			Observações
					Alburno	Transição	Cerne	Alburno	Transição	Cerne	
maio/03	31	C/P	80	B	-	-	-	-	-	-	
	6	N/B	80	B	2.154	1.834	453	475	185	35	
	10	N/B	90	B	3.188	69	68	655	70	30	
	11	C/B+P	100	M	47	2.831	619	65	410	75	
maio/04	15	C/B+P	100	M	244	383	341	130	60	50	
	18	C/P	100	MB	77	201	486	50	65	120	
	20	C/P	100	M	99	229	328	50	35	115	
	21	C/B+P	95	B	1.461	1.690	1.149	1.185	1.390	335	
	25	C/B+P	100	B	363	425	340	330	105	70	
	1	N/N	controle	N.M.	-	-	-	-	-	-	não analisado
	8	N/B	100	MB	54	90	103	25	<25	<25	
junho/05	12	C/B+P	100	B	71	138	194	120	75	75	
	16	C/P	100	MB	39	77	121	<25	<25	<25	água nos furos
	30	C/B	95	MB	700	940	801	405	145	60	
	32	C/P	100	B	68	120	214	<25	25	97	
	7	N/B	100	MB	1.238	1.136	712	505	280	140	
	9	N/B	100	MB	1.329	1.445	880	670	395	240	
	13	C/B+P	100	MB	177	316	438	155	80	165	
novembro/05	14	C/B+P	100	MB	107	146	156	150	65	80	
	27	C/B	100	MB	364	518	581	245	150	90	
	29	C/B	95	B	156	233	281	170	60	70	
	33	C/P	100	N.M.	-	-	-	-	-	-	não analisado
	35	C/P	100	N.M.	-	-	-	-	-	-	não analisado

a) Tratamento: N - Nenhum ou C – CCA; Retratamento: B - Bioguard, P - Polesaver, N - Nenhum. b) Testes colorimétrico para Boro: MB muito, B bom, M média; N.M. não analisado.

Anexo 6 – Ficha utilizada na segunda inspeção da fase 3 para Canoas e Montenegro.

PUCRS		FICHA DE RE-INSPEÇÃO DE POSTES - PROJETO FASE III - 2ª Inspeção													AS Sul		
Município: Canoas		Bairro: Igara			Circuito: 389-1			Data:			Urb. <input type="checkbox"/> Rur. <input type="checkbox"/>		Equipe:				
Poste n°	Rua	Alt.	Ano Fabr.	Mat.	Retr Ant	Subst. Ant.	Furo Insp	Classe Fase I/II	Classe Fase III	Classe 2ª Reinsp.	Retr. 2ª Reinsp	Plugs Ret.	Subst.	Novo Furo	Coordenadas PUCRS		Referência
1764	Xingu	11	1991	M	N	N		3	4						484658	6692061	Casa 315
1765	Xingu	11	1991	M	N	N		4	4						484653	6692066	casa 336
1766	Xingu	11	1991	M	N	N		3	4						484615	6692097	Casa 296
1767	Xingu	11		M	N	N		1	2						484573	6692111	Casa 345 POSTE TR
1768	Anturias	11	1991	M	N	N		2	3						484633	6692107	Esquina
1769	Xingu	11	1991	M	N	N		2	3						484554	6692139	Casa 450
1770	Xingu	11		C	N	S		4							484521	6692165	Casa 490
1771	Xingu	11	1991	M	N	N		3	3						484486	6692193	Casa 530
1772	Xingu	11		M	N	N		1	1						484458	6692225	Esquina Igreja II
1773	Xingu	11	1991	M	N	N		4	4						484422	6692241	Casa 635
Observações:																	

