

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS

ROBERTO RAMOS DE FREITAS

Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira
aplicado ao Estado De São Paulo

São Carlos
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ROBERTO RAMOS DE FREITAS

Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira
aplicado ao Estado De São Paulo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação dos Materiais

Orientador: Prof. Dr. Carlito Calil Júnior

São Carlos
2009

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Freitas, Roberto Ramos de.

Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicada ao Estado de São Paulo / Roberto Ramos de Freitas; orientador Carlito Calil Junior.—São Carlos, 2009.

301 p.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais. Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Madeira. 2. Postes de madeira. 3. Durabilidade da madeira. 4. Perfuração controlada. I. Título.

Dedico à minha amada esposa Tati
minha companheira desde julho de 1997

AGRADEÇO

A DEUS, que permite a minha existência e caminhada diária.

Agradeço a minha esposa Tati pelo seu amor e paciência.

Aos meus pais Dulcídio e Eurentina pelo amor, dedicação e renúncias.

À minha irmã Luciana, minha segunda mãe.

As minhas queridas sobrinhas Júlia e Vitória pela felicidade delas.

Aos meus sogros Reginaldo e Maria Amélia pelos aconselhamentos e orações.

Aos meus queridos cunhados Rogério, Rafael e Talita, pelos agradáveis momentos juntos.

Ao meu querido orientador, amigo e padrinho Calil. A ele não tenho palavras...

Aos Prof. Rocco e Prof. Dias pelo convívio e aprendizado.

Aos Técnicos do LaMEM Silvio Antônio Ferro, Samuel Inácio de Sá, ao Pós-doutorando Júlio César Molina, e à Fabiane Salles Ferro, graduanda do curso de Engenharia Industrial Madeireira da UNESP de Itapeva, pela inestimável ajuda na realização das viagens e inspeções dos postes.

Aos amigos Márcio Rogério e Edna Moura, e ao restante da Família LaMEM pelo prazeroso convívio.

À Professora Idalice Rillo, pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos Engenheiros e Professores Angelo Rubens Migliore Júnior e Pedro Donizeti Zacarin pelo apoio no momento de incertezas profissionais.

Aos Engenheiros Rui Carlos Giorgi e Cleiner Reame Júnior pela oportunidade e ensinamentos profissionais.

Ao amigo Engenheiro José Carlos de Teixeira Filho pela amizade e oportunidade.

Aos amigos Engenheiros João Carlos de Carvalho e Ailton Adriano Pissolati, pela valiosa oportunidade de estágio em junho de 1996, no Laboratório da Capi Engenharia, onde tudo começou.

Ao amigo Engenheiro Paulo Roberto Terzian pelo incentivo, apoio e por me indicar o caminho.

Ao IAC-Instituto Agrônomo de Campinas pelo fornecimento dos dados climatológicos.

À FAPESP e CNPq, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

À CPFL pelo fornecimento da bolsa.

I have a dream...

(Martin Luther King, Jr., 1963)

Yes We Can!

(Barack Hussein Obama II, 2008)

RESUMO

FREITAS, R.R. **Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo**. 2009. 301 p.. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

Este trabalho tem por finalidade o estudo teórico e experimental de avaliação da degradação em postes de madeira utilizados em redes de energia elétrica. Com base em ampla revisão bibliográfica, de dados climáticos de várias cidades do Estado de São Paulo e resultados de ensaios de perfuração controlada realizadas em campo, em vários municípios do Estado de São Paulo, apresenta um modelo de apodrecimento de madeira em contato com o solo, identificando quais as cidades são mais e menos agressivas à madeira nestas condições, propondo a simplificação deste modelo, facilitando sua utilização na previsão da vida útil de madeiras em contato com o solo, predizendo o grau de deterioração destes. O modelo proposto se mostrou bastante adequado dando uma boa previsão da deterioração de postes nas diversas regiões do Estado.

Palavras-chave: Madeira; Postes de madeira; Durabilidade da madeira; Perfuração controlada.

ABSTRACT

FREITAS, R.R. **Theoretical-experimental model of timber pole deterioration applied to the State of São Paulo.** 2009. 301 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

The purpose of this paper is the theoretical and experimental study of evaluation of timber deterioration in used poles in nets of electric energy. Basing on ample bibliographical reviews of climatic data of some cities in the State of São Paulo and results of controlled perforation testing done in field, in some cities of the State of São Paulo, it presents a model of timber decay in contact with the ground, identifying which cities are more aggressive or less aggressive to the wood in these conditions, proposing the simplification of this model, facilitating its use in the forecast of the timber service life in contact with the ground, predicting the degree of deterioration in them. The proposed model proved to be sufficiently adequate giving a good forecast of the pole deterioration in several regions of the State.

Key Words: Timber; Utility Timber Poles; Timber Durability; Controlled perforation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Série histórica de produção e consumo de produtos de peças roliças nos Estados Unidos – (HOWARD, 2001).....	29
FIGURA 1.2	Produção anual de postes de madeira tratada em vários países - (REVISTA DA MADEIRA, 2001).....	31
FIGURA 2.1	Desempenho ao longo do tempo de um elemento.....	40
FIGURA 2.2	Probabilidade de ruína – (FUSCO, 1976b).....	43
FIGURA 2.3	Origem dos problemas patológicos com relação à etapas de produção e uso das obras civil – (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1982).....	45
FIGURA 3.1	Distribuição de edifícios demolidos por material estrutural – (O’CONNOR; DANGERFIELD, 2005).....	49
FIGURA 3.2	Funções idealizadas para dois parâmetros de apodrecimento – (LEICESTER, 2001).....	58
FIGURA 3.3	Modelo de Arrhenius.....	59
FIGURA 3.4	Desempenho da durabilidade: (a) ataque por fungos ou corrosão; (b) ataque por termitas – (LEICESTER, 2001).....	60
FIGURA 3.5	Esquema do Ábaco de McLean.....	70
FIGURA 3.6	Fluxograma da missão econômica e social da preservação da madeira – (REZENDE et al., 1983).....	72
FIGURA 3.7	Fluxograma que mostra as principais decisões a serem tomadas quando da utilização de madeiras em edificações – (IPT, 2001).....	79
FIGURA 4.1	Região de afloramento do poste.....	90
FIGURA 4.2	Cruzetas deterioradas por fungos.....	91
FIGURA 4.3	Fendas na superfície postes de eucalipto.....	92
FIGURA 4.4	Utilização da madeira de eucalipto como postes.....	95
FIGURA 4.5	Distribuição relativa das causas de retirada de postes – (BOTTAZZO et al., 1988).....	96
FIGURA 4.6	Regiões climáticas da Austrália – (AS/NZS 4676:2000).....	98
FIGURA 4.7	Regiões de vida útil nominal para postes de madeira – (AS/NZS 4676:2000).....	99
FIGURA 4.8	Dispositivo para ensaio de resistência à flexão – (NBR 6231/1980).....	102
FIGURA 4.9	Resistência pela espessura da casca residual do poste – (MORRELL, 1986).....	107

FIGURA 4.10	Uso do Resistograph® na avaliação de postes de madeira.....	111
FIGURA 4.11	Uso de equipamento de perfuração controlada na avaliação de tesoura - (VALLE et al.; 2006).....	111
FIGURA 4.12	Exemplo de perfil gerado por avaliação controlada em elemento de tesoura - (VALLE et al.; 2006).....	112
FIGURA 4.13	Utilização do trado de amostragem para verificação superficial da sanidade do poste de aroeira.....	114
FIGURA 4.14	Material superficial retirado de poste de aroeira.....	114
FIGURA 4.15	Poste com pintura impermeabilizante e fita metálica no afloramento...	115
FIGURA 4.16	Poste com pintura impermeabilizante abaixo do nível do solo.....	115
FIGURA 4.17	Chapa de dente estampado no topo do poste.....	116
FIGURA 4.18	Chapa de dente estampado na base do poste.....	116
FIGURA 4.19	Poste de madeira instalado inadequadamente.....	118
FIGURA 4.20	Colarinho de concreto para proteção do afloramento.....	118
FIGURA 5.1	Método de aplicação tratamento no afloramento de poste em serviço – (IBACH, 1888).....	120
FIGURA 5.2	Desempenho ao longo do tempo para poste em serviço.....	121
FIGURA 6.1	Produção de postes por espécies nos Estados Unidos – (WOLFE; MOODY, 1987).....	131
FIGURA 7.1	Mapa do Índice Climático dos EUA – (SCHEFFER, 1971).....	133
FIGURA 7.2	Potencial de Ataque Fúngico – (SILVA et al., 2001).....	134
FIGURA 7.3	Estacas em contato com o solo – (LEICESTER et al., 2003).....	135
FIGURA 7.4	Relação de apodrecimento idealizada – (LEICESTER et al., 2003)...	136
FIGURA 7.5	Funções $f_0(R_{mean})$ e $g(T_{mean})$ - (LEICESTER et al., 2003).....	137
FIGURA 7.6	Esquema ilustrativo da razão de apodrecimento relativo de diferentes tipos de madeira – (LEICESTER et al., 2003).....	138
FIGURA 7.7	Progresso do apodrecimento externo para postes não-tratados sem albuno – (LEICESTER et al.,2003).....	140
FIGURA 7.8	Progresso do apodrecimento externo para postes não-tratado com albuno – (LEICESTER et al.,2003).....	141
FIGURA 7.8	Progresso do apodrecimento externo para postes tratado com albuno – (LEICESTER et al.,2003).....	141
FIGURA 7.10	Progresso do apodrecimento interno para postes não-tratados sem albuno – (LEICESTER et al.,2003).....	141
FIGURA 7.11	Progresso do apodrecimento externo para postes tratados com albuno – (LEICESTER et al.,2003).....	142

FIGURA 7.12	Progresso do apodrecimento externo para postes tratados de softwood – (LEICESTER et al.,2003).....	142
FIGURA 7.13	Progresso do apodrecimento externo para postes tratados de hardwood – (LEICESTER et al.,2003).....	142
FIGURA 8.1	Localização do Estado de São Paulo.....	143
FIGURA 8.2	Histograma de frequência absoluta das temperaturas médias para as cidades do Estado de São Paulo.....	148
FIGURA 8.3	Histograma de frequência absoluta das precipitações anuais para as cidades do Estado de São Paulo.....	149
FIGURA 8.4	Histograma de frequência absoluta dos meses secos para as cidades do Estado de São Paulo.....	149
FIGURA 8.5	Histograma de frequência absoluta dos Índices Climáticos I_{ig} para as cidades do Estado de São Paulo.....	150
FIGURA 8.6	Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig<2,50}$	151
FIGURA 8.7	Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig>2,50}$	151
FIGURA 8.8	Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig<2,50}$	152
FIGURA 8.9	Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig>2,50}$	152
FIGURA 8.10	Histograma de frequência absoluta dos meses secos para $I_{ig<2,50}$	153
FIGURA 8.11	Histograma de frequência absoluta dos meses secos para $I_{ig>2,50}$	153
FIGURA 8.12	Teste de normalidade para temperatura.....	155
FIGURA 8.13	Teste de normalidade para precipitação.....	155
FIGURA 8.14	Teste de normalidade para meses secos.....	156
FIGURA 8.15	Teste de normalidade para I_{ig}	156
FIGURA 8.16	Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig<2,50}$	158
FIGURA 8.17	Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig>2,50}$	158
FIGURA 8.18	Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig<2,50}$	159
FIGURA 8.19	Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig>2,50}$	159
FIGURA 8.20	Teste de normalidade para meses secos de $I_{ig<2,50}$	160
FIGURA 8.21	Teste de normalidade para meses secos de $I_{ig>2,50}$	160
FIGURA 8.22	Populações de temperatura para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$	161
FIGURA 8.23	Populações de precipitação para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$	162
FIGURA 8.24	Populações de meses secos para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$	162
FIGURA 8.25	Diagrama de temperatura das dez cidades de menores I_{ig}	164
FIGURA 8.26	Diagrama de precipitação das dez cidades de menores I_{ig}	164
FIGURA 8.27	Diagrama de meses secos das dez cidades de menores I_{ig}	165
FIGURA 8.28	Diagrama de temperatura das dez cidades de maiores I_{ig}	166

FIGURA 8.29	Diagrama de precipitação das dez cidades de maiores I_{ig}	166
FIGURA 8.30	Diagrama de meses secos das dez cidades de maiores I_{ig}	167
FIGURA 9.1	Analogia de modelos Eficaz e Eficiente.....	178
FIGURA 9.2	Varição do fator redutor no modelo de LEICESTER.....	179
FIGURA 9.3	Histograma de frequência absoluta do coeficiente redutor do modelo de LEICESTER.....	179
FIGURA 9.4	Histograma de frequência absoluta dos $I_{ig;simplificado}$ para as cidades do Estado de São Paulo.....	184
FIGURA 9.5	Populações de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	184
FIGURA 9.6	Histograma de frequência absoluta da variação de I_{ig} para $I_{ig;simplificado}$	185
FIGURA 9.7	Regressão $I_{ig} \times I_{ig;simplificado}$	185
FIGURA 9.8	Resíduos $\times I_{ig;simplificado}$	186
FIGURA 9.9	Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig;simplificado}<2,50$	187
FIGURA 9.10	Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig;simplificado}>2,50$	188
FIGURA 9.11	Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig;simplificado}<2,50$	188
FIGURA 9.12	Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig;simplificado}>2,50$	189
FIGURA 9.13	Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig;simplificado}<2,50$	190
FIGURA 9.14	Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig;simplificado}>2,50$	190
FIGURA 9.15	Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig;simplificado}<2,50$	191
FIGURA 9.16	Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig;simplificado}>2,50$	191
FIGURA 9.17	Populações de temperatura para $I_{ig;simplificado}<2,50$ e $I_{ig;simplificado}>2,50$	193
FIGURA 9.18	Populações de precipitação para $I_{ig;simplificado}<2,50$ e $I_{ig;simplificado}>2,50$	193
FIGURA 9.19	Diagrama de temperatura das dez cidades de menor $I_{ig;simplificado}$	195
FIGURA 9.20	Diagrama de precipitação das dez cidades de menor $I_{ig;simplificado}$	195
FIGURA 9.21	Diagrama de temperatura das dez cidades de maior $I_{ig;simplificado}$	196
FIGURA 9.22	Diagrama de precipitação das dez cidades de maior $I_{ig;simplificado}$	197
FIGURA 9.23	Populações de temperatura para as dez cidade de menores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	199
FIGURA 9.24	Populações de temperatura para as dez cidade de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	200

FIGURA 9.25	Populações de precipitação para as dez cidade de menores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	200
FIGURA 9.26	Populações de precipitação para as dez cidade de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	201
FIGURA 9.27	Populações dos maiores dos dez maiores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	203
FIGURA 9.28	Regressão entre I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as cidades de maiores valores de I_{ig}	203
FIGURA 9.29	Regressão entre I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as cidades de menores valores de I_{ig}	204
FIGURA 9.30	Regressões de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	205
FIGURA 10.1	Plaqueta de identificação dos postes.....	211
FIGURA 10.2	Determinação da circunferência no afloramento.....	212
FIGURA 10.3	Equipamento de perfuração controlada IML-RESIF500-S.....	213
FIGURA 10.4	Registro do perfil perfurado em papel.....	213
FIGURA 10.5	Tela de software para análise do perfil perfurado.....	214
FIGURA 10.6	Equipamento de perfuração com ponteira chanfrada.....	215
FIGURA 10.7	Perfuração no afloramento do poste.....	215
FIGURA 11.1	Histograma de frequência absoluta das idades.....	225
FIGURA 11.2	Histograma de frequência absoluta dos diâmetros.....	225
FIGURA 11.3	Teste de normalidade para as idades dos postes.....	226
FIGURA 11.4	Teste de normalidade para os diâmetros dos postes.....	226
FIGURA 11.5	Teste de normalidade para as temperaturas dos postes.....	228
FIGURA 11.6	Teste de normalidade para as precipitações dos postes.....	228
FIGURA 11.7	Teste de normalidade para os meses secos dos postes.....	229
FIGURA 11.8	Teste de normalidade para o I_{ig} dos postes.....	229
FIGURA 11.9	Teste de normalidade para o $I_{ig;simplificado}$ dos postes.....	230
FIGURA 11.10	Histograma de frequência absoluta dos comprimentos DETERIORADOS.....	231
FIGURA 11.11	Teste de normalidade para o comprimento deteriorado dos postes....	231
FIGURA 11.12	Histograma de frequência absoluta dos diâmetros dos postes SÃOOS.	232
FIGURA 11.13	Histograma de frequência absoluta dos diâmetros dos postes DETERIORADOS.....	233
FIGURA 11.14	Histograma de frequência absoluta das idades dos postes SÃOOS.....	234
FIGURA 11.15	Histograma de frequência absoluta das idades dos postes DETERIORADOS.....	234

FIGURA 11.16	Populações dos diâmetros dos postes SÃOS e DETERIORADOS.....	235
FIGURA 11.17	Populações das idades dos postes SÃOS e DETERIORADOS.....	236
FIGURA 11.18	Valores de temperatura para postes SÃOS e DETERIORADOS.....	239
FIGURA 11.19	Valores de precipitação para postes SÃOS e DETERIORADOS.....	240
FIGURA 11.20	Valores de meses secos para postes SÃOS e DETERIORADOS.....	240
FIGURA 11.21	Valores de I_{ig} para postes SÃOS e DETERIORADOS.....	241
FIGURA 11.22	Valores de $I_{ig; simplificado}$ para postes SÃOS e DETERIORADOS.....	242
FIGURA 11.23	Histograma de frequência absoluta do Grau de Deterioração.....	243
FIGURA 11.24	Teste de normalidade para o Grau de Deterioração.....	244
FIGURA 11.25	Regressão Comprimento Deteriorado x Diâmetro.....	245
FIGURA 11.26	Regressão Comprimento Deteriorado x Idade.....	246
FIGURA 11.27	Regressão Grau de Deterioração x Idade.....	246

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1	Resumo da atividade científica publicada pelo EBRAMEM.....	34
TABELA 3.1	Classificação da durabilidade natural das madeiras – (CASTRO SILVA, 2003).....	51
TABELA 3.2	Durabilidade natural do cerne de árvores adulta de <i>Eucaliptus</i> em contato com o solo – (CSIRO, 1987 apud SILVA OLIVEIRA; CASTRO SILVA, 2001).....	52
TABELA 3.3	Organismos comumente encontrados nos solos – (BUCKMAN; BRADY -1966).....	64
TABELA 3.4	Classificação da tratabilidade das madeiras – (Castro Silva, 2003).....	67
TABELA 3.5	Composição dos três tipos de Arseniato de Cobre Cromatado – (IBACH, 1988).....	68
TABELA 3.6	Critério de avaliação do estado de sanidade – (BARILLARI, JANKOWSKY, FREITAS - 2002).....	69
TABELA 3.7	Comparação entre os valores médios do Índice de Comportamento (I.C.) para os diferentes produtos, por nível de retenção (*) – (BARILLARI, JANKOWSKY, FREITAS, 2002).....	69
TABELA 3.8	Custos de produção de postes de eucalipto preservado - (SACCO, 1983).....	73
TABELA 3.9	Classes de umidade – (NBR 7180/1987).....	75
TABELA 3.10	Classe de duração – (NBR 7180/1987).....	75
TABELA 3.11	Agentes biológicos em função das situações de risco de deterioração da madeira – (NBR 7180/1987).....	77
TABELA 3.12	Classe de risco – Grupos de organismos xilófagos que podem atacar a madeira, conforme o local e as condições em que ela é empregada – (EN 335-1; EN 335-2 apud IPT, 2001).....	78
TABELA 3.13	Tipos de tratamentos e de preservantes em função da classe de risco na qual se encontrará a madeira – (IPT, 2001).....	78
TABELA 3.14	Guia de seleção de classe de risco – (AS 1604.1-2005).....	81
TABELA 3.15	Durabilidade natural – Expectativa de vida provável – (AS 5604 - 2005).....	82
TABELA 3.16	Resistência a brocas marinhas – Provável expectativa de vida – (AS 5604-2005).....	82
TABELA 3.17	Índices de durabilidade natural de <i>Eucaliptus</i> – (AS 5604-2005).....	83
TABELA 3.18	Classes de Durabilidade – (AS 1720.2-1980).....	84

TABELA 3.19	Classes de risco para uso da madeira na construção civil – (BRAZOLIN et al.; 2004).....	85
TABELA 3.20	Classes de agressividade ambiental – (NBR 6118/2003).....	86
TABELA 3.21	Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – (NBR 6118/2003).....	86
TABELA 3.22	Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento – (NBR 6118/2003).....	87
TABELA 3.23	Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – (NBR 12655/2006).....	87
TABELA 4.1	Madeira roliça.....	89
TABELA 4.2	Resistência natural ao ataque de cupins e permeabilidade das madeiras – (CASTRO SILVA, 2003).....	93
TABELA 4.3	Valores de concentração de CCA - (SALES et al., 2004).....	94
TABELA 4.4	Classificação sugerida da vida útil nominal dos postes de madeira (AS/NZS 4676:2000).....	99
TABELA 4.5	Fator de degradação – (AS/NZS 4676:2000).....	101
TABELA 4.6	Períodos recomendados para inspeção de postes de madeira – (AS/NZS 4676:2000).....	106
TABELA 5.1	Número de anos após instalação que os postes não romperam no afloramento quando submetido a aplicação de força – (DeGROOT, 1981).....	123
TABELA 5.2	Grautes produzidos pela FOSROC REAX (2002).....	124
TABELA 5.3	Valores médios de f_{c0} e E_{c0} para o gênero <i>Eucalyptus spp.</i> - (NBR 7180/1987).....	125
TABELA 6.1	Valores médios e madeiras coníferas de florestamento, ensaios de amostras isentas de defeito – (CALIL JÚNIOR, 2002).....	128
TABELA 6.2	Resumo das conclusões - (BORTOLETTO JÚNIOR, 1883).....	129
TABELA 6.3	Índices de durabilidade natural de Pinus – (AS 5604-2005).....	130
TABELA 6.4	Espécies de postes por tensão de ruptura pela ANSI 05.1 – (WOLFE; MOODY, 1987).....	131
TABELA 6.5	Classificação dos postes de madeira pela ANSI 05.1 -(WOLFE; MOODY, 1887).....	132
TABELA 7.1	Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade	137
TABELA 7.2	Parâmetros de apodrecimento para cerne externo não tratado – (LEICESTER et al., 2003).....	138
TABELA 8.1	Dados climatológicos e I_{ig} obtidos.....	145

TABELA 8.2	Estatística dos dados climatológicos.....	148
TABELA 8.3	Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade	150
TABELA 8.4	Estatística descritiva para as variáveis das populações de I_{ig}	150
TABELA 8.5	Teste de normalidade variáveis de I_{ig}	154
TABELA 8.6	Teste de normalidade variáveis de $I_{ig;simplificado<2,50}$	157
TABELA 8.7	Teste de normalidade variáveis de $I_{ig;simplificado>2,50}$	157
TABELA 8.8	Cidades menos agressivas à madeira no Estado de São Paulo.....	163
TABELA 8.9	Cidades mais agressivas à madeira no Estado de São Paulo.....	165
TABELA 8.10	Comparação de I_{ig} e parâmetros menos agressivos.....	168
TABELA 8.11	Comparação de I_{ig} e parâmetros mais agressivos.....	168
TABELA 8.12	Classificação de espécies por durabilidade.....	170
TABELA 8.13	Razão de apodrecimento do cerne de espécies de eucalipto e pínus em estacas em contato com o solo para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo.....	170
TABELA 8.14	Razão de apodrecimento do cerne de espécies de eucalipto e pínus em estacas em contato com o solo para as cidades mais agressivas do Estado de São Paulo.....	171
TABELA 8.15	Previsão de tempo necessário para apodrecimento de 5 mm de cerne em estaca com contato com o solo para espécies de normatizadas nacionalmente.....	172
TABELA 8.16	Percentual de ingrediente ativo adotado.....	173
TABELA 8.17	Razão de apodrecimento de alburno tratado para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo.....	173
TABELA 8.18	Razão de apodrecimento de alburno tratado para as cidades mais agressivas do Estado de São Paulo.....	174
TABELA 8.19	Tempo para perda da capacidade resistente para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo.....	175
TABELA 8.20	Tempo para perda da capacidade resistente para cidades mais agressivas do Estado de São Paulo.....	175
TABELA 9.1	Comparação de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	181
TABELA 9.2	Estatística descritiva de $I_{ig;simplificado}$	183
TABELA 9.3	Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade	186
TABELA 9.4	Estatística descritiva dos parâmetros das populações de $I_{ig;simplificado}$	187
TABELA 9.5	Teste de normalidade variáveis de $I_{ig;simplificado<2,50}$	189
TABELA 9.6	Teste de normalidade variáveis de $I_{ig;simplificado>2,50}$	189

TABELA 9.7	Cidades menos agressivas à madeira no Estado de São Paulo pelo modelo simplificado.....	194
TABELA 9.8	Cidades mais agressivas à madeira no Estado de São Paulo pelo modelo simplificado.....	196
TABELA 9.9	Comparação de $I_{ig;simplificado}$ e parâmetros menos agressivos.....	198
TABELA 9.10	Comparação de $I_{ig;simplificado}$ e parâmetros mais agressivos.....	198
TABELA 9.11	Cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	201
TABELA 9.12	Cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	202
TABELA 9.13	Comparação entre os valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$	202
TABELA 9.14	Valores dos coeficiente das regressões $I_{ig} \times I_{ig;simplificado}$	205
TABELA 9.15	Valores de I_{ig} e I_{ig}'	206
TABELA 10.1	Perfis de deterioração de postes de madeira.....	216
TABELA 11.1	Identificação das cidades visitadas.....	219
TABELA 11.2	Dados do levantamento de campo.....	220
TABELA 11.3	Estatística descritiva dos postes inspecionados.....	224
TABELA 11.4	Teste de normalidade dos valores de idade e diâmetro dos postes inspecionados.....	225
TABELA 11.5	Distribuição absoluta e relativa do tipo de preservativo presente nos postes inspecionados.....	227
TABELA 11.6	Teste de normalidade dos dados climáticos.....	227
TABELA 11.7	Estatística descritiva do comprimento deteriorado.....	230
TABELA 11.8	Teste de normalidade dos valores de comprimento deteriorado.....	231
TABELA 11.9	Estatística descritiva dos diâmetros dos postes SÃOOS e DETERIORADOS.....	232
TABELA 11.10	Estatística descritiva das idades dos postes SÃOOS e DETERIORADOS.....	233
TABELA 11.11	Frequência observada dos tratamentos.....	237
TABELA 11.12	Frequências esperadas para os tratamentos.....	237
TABELA 11.13	Estatística descritiva do Grau de Deterioração.....	244
TABELA 11.14	Teste de normalidade dos valores de comprimento deteriorado.....	244

LISTA DE ABREVIATURAS

ANSI	American National Standards Institute
AS	Australian Standards
AWPA	American Wood-Preservers' Association.
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
C_{CCA}	Concentração de CCA em kg/kg
$C_{CCA-equiv.}$	Concentração de CCA equivalente em kg/kg
$C_{creosoto}$	Concentração de Creosoto em kg/kg
MDF	Medium density fiberboard (placa de fibra de madeira de média densidade)
NZS	New Zealand Standards
OSB	Oriented Strand Board
Af	Clima tropical úmido
Aw	Clima tropical com estação seca de inverno
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente
Cfb	Clima temperado úmido com verão temperado
Cwa	Clima temperado úmido com Inverno seco e verão quente
Cwb	Clima temperado húmido com Inverno seco e verão temperado
I_{ig}	Índice climático de apodrecimento de madeiras em contato com o solo (LEICESTER et al.; 2003)
$I_{ig,simplificado}$	Índice climático simplificado de apodrecimento de madeiras em contato como solo proposto a partir de I_{ig}
$I_{ig}<2,50$	Índice climático menor que 2,50
$I_{ig}>2,50$	Índice climático maior que 2,50
$I_{ig,simplificado}<2,50$	Índice climático simplificado menor que 2,50
$I_{ig,simplificado}>2,50$	Índice climático simplificado maior que 2,50
I_{LL-SP}	Índice climático de apodrecimento de madeiras em contato como o solo para o Estado de São Paulo/Brasil
$Lag_{nt,alb,estaca}$	Período inicial para o apodrecimento de alburno não-tratado em estaca experimental
$Lag_{nt,alb,poste}$	Período inicial para o apodrecimento de alburno não-tratado em poste
$Lag_{nt,cer,estaca}$	Período inicial para o apodrecimento de cerne não-tratado em estaca experimental
$Lag_{nt,cer,poste}$	Período inicial para o apodrecimento de cerne não-tratado em poste

$Lag_{nt,juv,estaca}$	Período inicial para o aprodrecimento de madeira juvenil não-tratada em estaca experimental
$Lag_{nt,juv,poste}$	Período inicial para o aprodrecimento de madeira juvenil não-tratada em poste
$Lag_{tr,alb,estaca}$	Período inicial para o aprodrecimento de alburno tratado em estaca experimental
$Lag_{tr,alb,poste}$	Período inicial para o aprodrecimento de alburno tratado em poste
$r_{nt,alb,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de alburno não-tratado em estaca experimental
$r_{nt,alb,poste}$	Velocidade para o aprodrecimento de alburno não-tratado em poste
$r_{nt,cer,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de cerne não-tratado em estaca experimental
$r_{nt,cer,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de cerne não-tratado em poste
$r_{nt,juv,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de madeira juvenil não-tratada em estaca experimental
$r_{nt,juv,poste}$	Velocidade para o aprodrecimento de madeira juvenil não-tratada em poste
$r_{tr,alb,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de alburno tratado em estaca experimental
$r_{tr,alb,estaca}$	Velocidade para o aprodrecimento de alburno tratado em poste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	A utilização de peças roliças.....	28
1.2	Os postes de madeira.....	29
1.3	O estudo da durabilidade e patologia das estruturas de madeira no Brasil.....	33
1.4	Justificativa do trabalho.....	35
1.5	Objetivos do trabalho.....	36
1.5.1	Objetivos gerais.....	37
1.5.2	Objetivos específicos.....	37
2	DURABILIDADE, CONFIBILIDADE E PATOLOGIAS.....	39
2.1	Confiabilidade e segurança.....	41
2.2	Patologia e terapia.....	44
2.3	O custo da durabilidade.....	45
3	DURABILIDADE, DEGRADAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA.....	49
3.1	Durabilidade natural.....	50
3.2	Agentes de biodegradação da madeira.....	52
3.2.1	Bioquímica do apodrecimento.....	57
3.3	Cupins, crustáceos e moluscos.....	59
3.4	<i>Weathering</i> – Oliveira et al. (1986).....	61
3.5	A influência do solo na degradação da madeira.....	62
3.6	A preservação da madeira.....	65
3.6.1	Produtos preservativos.....	67
3.6.2	Métodos preservativos.....	70
3.7	Preservação <i>versus</i> Custos.....	72
3.8	Classes de riscos.....	75
3.8.1	As classes de risco no desenvolvimento de projetos.....	86
4	OS POSTES DE MADEIRA.....	89
4.1	A vida útil dos postes de madeira.....	97
4.2	Dimensionamento.....	99
4.3	Ensaio de caracterização mecânica.....	102
4.4	Inspeção dos postes de madeira em serviço.....	105
4.4.1	Metodologia de inspeção M-13.....	107
4.4.2	Metodologia de inspeção: A perfuração controlada.....	110
4.5	Inspeção empírica em postes.....	112
4.6	Proposta para aumento da durabilidade dos postes.....	114
5	MANUTENÇÃO E REFORÇO DE POSTES DE MADEIRA.....	119

6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DO PÍNUS.....	127
7	MODELOS DE ATAQUE E APODRECIMENTO.....	133
7.1	Progresso da deterioração.....	140
8	APLICAÇÃO DO MODELO DE APODRECIMENTO ÀS CIDADES DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	143
8.1	O clima do Estado de São Paulo.....	143
8.2	Dados climatológicos e I_{ig}	144
8.3	Testes de Normalidade para as variáveis de I_{ig}	154
8.4	Testes de Hipótese para as variáveis de I_{ig} (Teste- F).....	161
8.5	Identificação das cidades de menores e maiores agressividades.....	163
8.6	Previsão do apodrecimento em madeira não-tratada.....	169
8.7	Previsão do apodrecimento em postes tratados.....	172
9	PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DE MODELO DE AGRESSIVIDADE.....	177
9.1	Justificativa da proposição.....	177
9.2	Simplificação do modelo.....	180
9.3	Testes de Hipótese das variáveis de $I_{ig; simplificado}$ (Teste- F).....	192
9.4	Identificação das cidades de menores e maiores agressividades segundo $I_{ig; simplificado}$	194
9.4.1	Teste de hipótese para as cidade de menores e maiores agressividades.....	199
9.5	Análise de regressões.....	203
10	MATERIAIS E MÉTODOS.....	211
10.1	Dados dos postes.....	211
10.2	Inspeção por perfuração controlada.....	212
10.3	Análise dos perfis da perfuração controlada.....	216
11	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	219
11.1	Descrição dos postes inspecionados.....	219
11.2	Identificação de populações.....	230
11.3	Testes de Hipótese para os postes (Teste- F).....	235
11.4	Análise dos tratamentos preservativos.....	236
11.5	Testes de Hipótese (ANOVA).....	237
11.6	Grau de Deterioração.....	243
11.7	Regressões.....	245
11.8	Resumo das conclusões da análise de dados.....	247
12	CONCLUSÕES.....	249
	REFERÊNCIAS.....	253
	GLOSSÁRIO.....	261

ANEXO A	ARTIGOS SOBRE DURABILIDADE PUBLICADOS NOS EBRAMEM'S – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS.....	265
ANEXO B	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DOS POSTES DE MADEIRA (NBR 8458/1984).....	269
ANEXO C	ESPÉCIES NORMATIZADAS PELA AS 2208-1984.....	277
ANEXO D	ESPECIFICAÇÕES PARA A CLASSE DE RISCO H5 – AS 1604.1-2005 SPECIFICATIONS FOR PRESERVATIVE TREATMENT PART 1: SAWN AND ROUND TIMBER.....	281
ANEXO E	PRODUTOS PRESERVATIVOS DE MADEIRA REGISTRADOS NO IBAMA – 13 DE MARÇO DE 2007.....	283
ANEXO F	ÁBACO DE MCLEAN.....	287
ANEXO G	DADOS CLIMÁTICOS – INSTITUTO AGRÔNOMO DE CAMPINAS/SP.....	289
ANEXO H	COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS CIDADES.....	293
ANEXO I	TESTES ESTATÍSTICOS.....	297

1 INTRODUÇÃO

Seguramente, a madeira é um dos materiais mais versáteis que a natureza dispõe à humanidade. Há milhares de anos a madeira vem sendo utilizada para suprir as necessidades oriundas de uma sociedade cada vez mais sedenta por novas fontes de energia e matéria-prima.

Conforme Pfeil, W; Pfeil, M (2003), na atualidade a madeira tem sido utilizada de diversas formas na construção:

- Madeira maciça: bruta ou roliça, falqueada ou serrada;
- Madeira industrializada: compensada, laminada e colada, recomposta.

Entretanto, segundo Uriartt (2001) a madeira não deve ser apresentada apenas como material de construção, mas também como matéria-prima para múltiplas possibilidades de aproveitamento industrial, como por exemplo, a utilização da celulose para obtenção de papéis, rayon, açúcares, álcoois, resinas e a lignina para a obtenção de resinas e taninos.

Segundo Fusco (1989) a usinagem da madeira é extraordinariamente mais simples do que a usinagem do concreto ou do aço. Desta forma os investimentos industriais necessários são muito menos onerosos e a qualificação da mão-de-obra a ser empregada é muitíssimo menos exigente.

“Quando devidamente estudada e adequadamente empregada, respeitando-se a essência de sua estrutura interna, a madeira é um material estrutural de primeira qualidade, cujo emprego deverá crescer consideravelmente nos anos vindouros”, (FUSCO, 1989).

Outro ponto importante é que a madeira é o único material que ao invés do CO₂ ser liberado para a atmosfera em sua produção, este é absorvido, sendo assim realizado o chamado “sequestro de carbono”.

Segundo Romano (2004) a madeira e seus produtos derivados assumem um papel de destaque como materiais que contribuem para a construção, para o cumprimento dos objetivos do *Protocolo de Kyoto* e para a redução de emissões dos gases do efeito estufa, dadas as suas características ecológicas, econômicas e sociais. As florestas e os produtos de madeira desempenham um papel muito importante no ciclo global do carbono, pois agem como sumidouros de carbono através da:

- Manutenção e/ou aumento dos reservatórios de carbono existentes, através do melhoramento da proteção e gestão das florestas atuais;
- Expansão da área de florestas através da arborização;

- Substituição dos combustíveis fósseis por madeira proveniente de florestas geridas de modo sustentável;
- Substituição de produtos de alto consumo de energia (por exemplo, aço, alumínio ou concreto) por produtos lenhosos industriais (matérias-primas renováveis de baixo consumo de energia).

O'Connor; Dangerfield (2004) relatam que o sequestro de carbono em produtos de madeira e em florestas é uma área complexa e controversa de estudo devido à perspectiva de estimar e modelar o fluxo mundial de carbono. Embora ainda não sejam solucionados os métodos de contabilidade para medidas exatas, não há dúvidas que os produtos de madeira são incomparáveis entre os materiais estruturais principais, visto que eles isolam mais carbono do que é libertado durante a produção destes.

1.1 A utilização de peças roliças

Devido às várias possibilidades da utilização da madeira, tanto na construção civil, bem como no setor industrial, as peças estruturais roliças (estacas, escoramentos, postes, colunas etc.;) representam alguns dos mais eficientes usos dos recursos florestais naturais, requerendo o mínimo de processamento entre o abate da árvore e a venda do produto estrutural, em razão destes serem relativamente econômicos para produzir, comparados com madeira laminada colada, aço e produtos de concreto, eles são comumente utilizados por toda parte nos Estados Unidos, (WOLFE, 1999).

Como exemplo da viável utilização de peças roliças, Costa; Watai (1992) avaliando a produção de cruzetas em madeira de reflorestamento, relata que as cruzetas roliças apresentaram bons resultados mecânicos e custos bem inferiores em relação aos das cruzetas serradas.

Segundo Howard (2001) a produção industrial de diversos produtos de madeira roliças nos Estados Unidos¹, os quais incluem postes de reforço, postes e estacas, mourões, dormentes lavrados, escoramentos de minas, cavilhas e outros produtos, no ano de 1999 foi estimado em 13,7 milhões de metros cúbicos, correspondendo a um consumo per capita de 0,050 metros cúbicos. A Figura 1.1 mostra a série histórica da produção dos produtos de peças roliças no período de 1965 a 1999, respectivamente.

¹ O consumo de todos os produtos de madeira (peças estruturais, madeira compensada e laminados, produtos à base de polpa de madeira, troncos, polpa de cavaco e madeira para combustível) nos Estados Unidos em 1999 foi de 656,8 milhões de metros cúbicos, com produção de 497,6 milhões de metros cúbicos – (HOWARD, 2001).

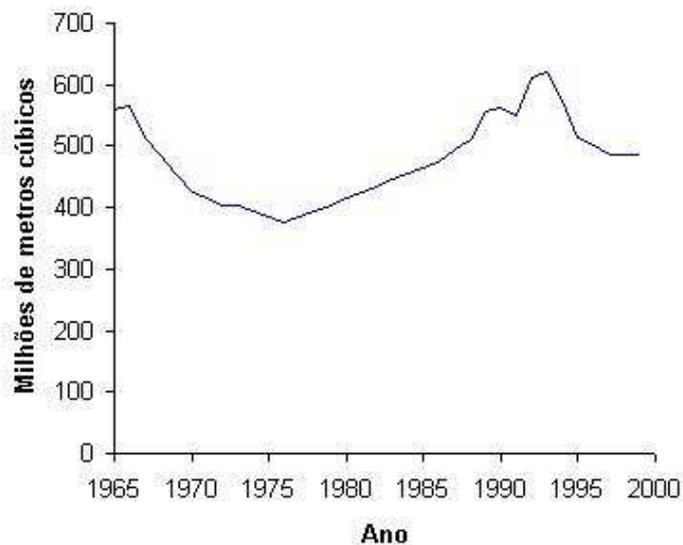


FIGURA 1.1 – Série histórica de produção e consumo de produtos de peças roliças nos Estados Unidos – (HOWARD, 2001).

Internacionalmente tem-se a ASTM D25 - Standard specifications for round timber piles, que especifica as características físicas de estacas roliças de madeira. Segundo Wolfe (2005) a ASTM D25, foi a primeira norma publicada para peças roliças em 1915. Com exceção de nós permissíveis maiores e exigências mais tolerantes para veios inclinados dispostos para postes, esta norma era idêntica à primeira especificação de postes proposta pelo Bell Labs como norma nacional 15 anos mais tarde.

No Brasil, a utilização de estacas de madeira é normatizada apenas pela NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, a qual dedica às descrições das características deste tipo de estaca apenas em metade de uma página. Até mesmo a NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira, não normatiza a utilização das peças roliças. Algo um tanto quanto contraditório em um país de grande potencial madeireiro.

1.2 Os postes de madeira

Segundo dados de BRASIL (2004), cerca de 2 milhões de domicílios rurais no Brasil não são providos de energia elétrica, representando 80% do total nacional da exclusão elétrica, o que corresponde a 10 milhões de brasileiros vivendo no meio rural sem acesso a esse serviço público, e aproximadamente 90% dessas famílias possuem renda inferior a 3 salários mínimos.

O Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, do Governo Federal, instituiu o Programa LUZ PARA TODOS, destinado a propiciar até o ano de 2008, o atendimento em

energia elétrica à parcela da população brasileira do meio rural que ainda não possui acesso a este serviço. Para alcançar seus objetivos e otimizar a utilização dos recursos públicos, o programa prioriza o atendimento com tecnologia de rede de baixo custo e, de forma complementar, com sistemas de geração descentralizada com rede isolada e sistemas individuais. Para as redes aéreas de distribuição rural, os agentes executores deverão priorizar tecnologia, materiais e equipamento de redes que resultem em redução do custo das redes, tendo como componentes citados as cruzetas e postes de madeira, BRASIL (2004).

Segundo Sales (2002) a produção de postes de madeira para eletrificação e telefonia está entre as aplicações estruturais de significativa importância no Brasil e várias concessionárias de energia elétrica continuam utilizando quantidades significativas de postes de madeira, principalmente em áreas rurais.

Sales (2003) relatam que no Estado de São Paulo a companhia ELEKTRO possui aproximadamente 600.000 postes de madeira preservada instalados e, no Rio Grande do Sul, a empresa Rio Grande Energia – RGE possui em torno de 500.000 unidades instaladas.

Conforme Geraldo (2001), países pobres em floresta, porém ricos em cimento e ferro, tal como a Inglaterra, preferem os postes de madeira tratada aos de concreto e aço, devido à economia que proporcionam na construção de redes rurais de energia. Nos Estados Unidos, 99% dos postes são de madeira tratada, utilizados na distribuição de energia elétrica para tensões de até 345 KV e na rede de telefonia, sendo que em 6 milhões de unidades por ano, um milhão de peças são importadas. No Brasil, que é um país de evidente vocação florestal, por provável desinformação, a demanda anual é da ordem de 250 mil unidades, (GERALDO, 2001).

Por mais de 140 anos, os postes de madeira têm provido uma solução a baixo custo para a utilização em redes de telecomunicações e energia elétrica nos Estados Unidos. No fim da Segunda Guerra Mundial, a produção de postes de madeira havia crescido para 8,1 milhões e seu uso havia se tornado uma importante influência no crescimento da infraestrutura do país, (WOLFE, 2005).

Durante todo o Século XX, a madeira dominou o mercado de postes nos Estados Unidos. Procedimento de projetos para estruturas tem evoluído para compensar a alta variabilidade relativa da resistência dos postes de madeira. Antes de 1990, contudo, a madeira perdeu uma importante parcela do mercado de linhas de transmissão por materiais fabricados competitivos (aço, concreto, polímeros reforçados com fibras), (WOLFE, 2005).

Contrariamente ao Brasil, onde os postes de madeira são utilizados como membros singulares em linhas de distribuição, nos Estados Unidos segundo Green; Hernandez (1998), estes são utilizados em linhas de transmissão na forma singular, ou como componente de estruturas mais complexa.

Obino (1987) define os postes de madeira tratados como um material de alta qualidade, baixo custo e bom desempenho, e que sua consagração somente acontecerá quando houver uma conscientização da importância de todas as etapas de sua fabricação.

Até mesmo o Japão, que possui pequena área territorial, produz mais postes de madeira tratada anualmente que o Brasil, Figura 1.2, este possuindo grande área territorial e abundância em recursos florestais, (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

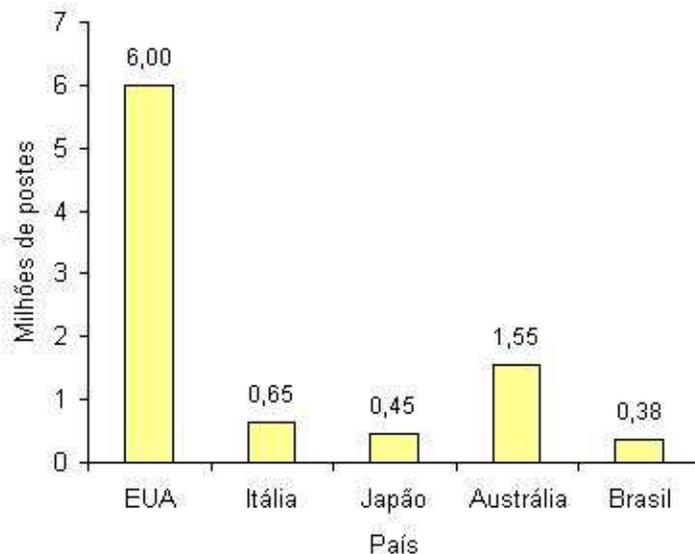


FIGURA 1.2 – Produção anual de postes de madeira tratada em vários países - (REVISTA DA MADEIRA, 2001)

As vantagens na utilização dos postes de madeira são citadas pela Revista da Madeira (2001), considerando os postes de eucalipto:

- Regulador de preço: atuam como reguladores de preços no mercado nacional. Quando as empresas de distribuição diminuíram a utilização de postes de madeira, os preços dos postes de concreto subiram rapidamente;
- Redutor de custos: quando os preços dos postes de madeira se apresentam inferiores ao de concreto, tais diferenças se refletem quase que na mesma proporção no custo das linhas de transmissão;
- Ecológico: a utilização de postes preservados, advindos de madeira de reflorestamento, representa atualmente um importante fator ecológico, como produto renovável, assim como estratégico de conservação de energia;
- Desempenho elétrico: como a madeira possui baixa condutividade térmica, há uma redução sensível dos riscos de acidentes e desligamento por fugas ou descargas elétricas, devido suas características dielétricas;
- Nível de isolamento: as estruturas de madeira suportam tensões de impulso atmosférico, no mínimo, 51% acima das estruturas metálicas;

- Transporte: os postes de madeira pesam em torno de 60% menos que o de concreto equivalente, trazendo uma redução de custos no transporte;
- Choque mecânico: em função de sua elevada elasticidade, os postes de madeira apresentam maior resistência aos choques mecânicos, quando comparados a outros tipos de postes;
- Instalação: por ser um material leve, pode ser arrastado por animais, morro acima e mata adentro e instalados por operários sem equipamentos especiais e sem riscos de se romper; os postes de concreto não podem ser arrastados e necessita de caminhão “munck”, exigindo-se cuidados extremos no seu manuseio;
- Acessórios: as estruturas de madeira necessitam de um número menor de acessórios (ferramentas, travessas, etc), proporcionando economia de escala, podendo chegar a relação 1:12, quando comparados com a utilização de postes de concreto;
- Performance: considerando o poste de madeira de 400 daN, suporta tal esforço em qualquer direção, enquanto o poste de concreto duplo T suporta essa carga apenas na direção dos fios e somente 200 daN, na perpendicular. Se a linha não for reta e plana, a situação para os postes de concreto se agrava, exigindo-se estais ou adensamento;

José Carlos (1990) cita que dentre as espécies de madeira disponíveis para a fabricação de postes de madeira preservada, as do gênero *Eucalyptus* mereceram a preferência por suas qualidades, sendo elas:

- Alta resistência mecânica;
- Alburno facilmente impregnável com soluções preservativas;
- Crescimento rápido;
- O cerne de algumas espécies possui alta resistência ao apodrecimento;
- Fácil remoção da casca;
- Podem ser cultivadas em praticamente todas as regiões do país;
- Crescem bem mesmo em terrenos de baixa fertilidade, incluindo terrenos arenosos (terreno de praia) e terras esgotadas;
- Não exige muitos cuidados, nem tratamentos culturais de custo elevado;
- Pode ser manuseado e transportado de forma rústica, incluindo deixar cair de cima do caminhão, arrastar com juntas de animais, instalar pelo sistema de mutirão, etc;
- Durante a secagem e a fabricação do poste, de uma forma geral, não ocorre ataque biológico que comprometa seriamente a qualidade da madeira, nenhum tratamento profilático é necessário a não ser em ocasiões muito chuvosas;
- São relativamente poucas as pragas que atacam a árvore de eucalipto.

Pertile (1990) considerando a grande utilização dos postes de madeira nos países desenvolvidos (USA, Rússia, Austrália, Alemanha, etc), faz a seguinte pergunta a que ainda

está sem resposta: “(...) Porque um país pobre como o Brasil usa em estados inteiros da Federação, somente postes de concreto, bem mais caros que os de madeira (...)? Qual o motivo de nós brasileiros gastarmos mais que os países ricos?”

1.3 O estudo da durabilidade e patologia das estruturas de madeira no Brasil

Um bom indicativo da atividade científica em uma sociedade são os Simpósios e Congressos Científicos Nacionais e Internacionais. Nestes são discutidos novas teorias e técnicas, sobre o tema do qual tal evento trata.

No campo das Engenharias, e tendo ênfase na Engenharia Civil, alguns dos mais conhecidos Congressos Nacionais de destaque podem ser citados:

- EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira;
- COBRACON – Congresso Brasileiro do Concreto;
- Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental;
- COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (todas as áreas);

Assim, da mesma forma, os artigos publicados em um dado evento também pode ser um bom indicativo dos temas desenvolvidos e estudados por tal sociedade científica.

O EBRAMEM através dos artigos nele publicados e apresentados, mostra os vários temas desenvolvidos e estudados pelos pesquisadores da área das Estruturas de Madeira, durante os seus atuais 22 anos de realização. Como indicação da atividade científica neste campo do conhecimento, a Tabela 1.1 mostra o número de artigos publicados nos nove EBRAMEM's realizados até o momento.

Na área temática “Durabilidade, Patologias e Recuperação Estrutural”, a Tabela 1.1 mostra o número de artigos publicados no EBRAMEM em todas suas edições.

TABELA 1.1 – Resumo da atividade científica publicada pelo EBRAMEM

Encontro	Ano	Áreas temáticas	Artigos publicados	
			Geral	Durabilidade, patologias e recuperação estrutural ²
I	1983	6	47	0
II	1986	7	60	1
III	1989	-	61	0
IV	1992	-	106	3
V	1995	10	100	0
VI	1998	9	144	1
VII	2000	9	140	2
VIII	2002	13	202	8
IX	2004	17	224	6
X	2006	14	223	11
XI	2008	19	245	5
	Total		1552	37

Ao se comparar o número total de artigos publicados (1552 trabalhos) nos nove eventos do EBRAMEM, com o número de artigos publicados na área temática de “Durabilidade, Patologias e Recuperação”, (37 trabalhos) verifica-se uma pequena atividade científica nesta área, devido estes representarem apenas 2,4% dos trabalhos publicados. Esta pequena atividade acarreta em um baixo desenvolvimento técnico em tal área. Desta forma uma das principais funções da atividade acadêmica, que é a geração de conhecimento para o meio técnico e conseqüentemente sociedade civil, fica prejudicada.

Apesar da pequena atividade de pesquisa no tema em questão, os Encontros VIII e IX, mostraram um aumento substancial na quantidade de trabalhos publicados, totalizando 14 artigos, mais que o publicado nos sete eventos anteriores. Além disso, a partir do EBRAMEM IX, realizado na cidade de Cuiabá-Mato Grosso, os artigos já foram apresentados em uma área temática exclusiva, o que anteriormente não era. No EBRAMEM X realizado na cidade de São Pedro-SP em julho de 2006, a submissão de artigos considerou 14 temas, e novamente sendo um dedicado à patologia, recuperação e durabilidade, com 11 artigos publicados nesta área temática, mostrando uma maior atenção da comunidade acadêmica ao assunto nestes últimos anos.

Entretanto, no último encontro, realizado em julho de 2008 em Londrina, apesar o tema ser tratado em um tópico exclusivo, houve uma queda no número de artigos publicados.

² Ver no Anexo A, a indicação dos artigos publicados;

Um dos vários exemplos da contribuição acadêmica à sociedade técnica nacional são as revisões e as atualizações das normas técnicas, pois nelas são incluídos os novos conceitos e práticas desenvolvidas pela atividade acadêmica. Sem esta atividade o processo de atualização das normas é totalmente prejudicado, não sendo possível corrigir erros, melhorar processos e vislumbrar novos horizontes.

A NBR 7190/97 no item 10.7, descreve a madeira como um material orgânico sujeito à biodeterioração, fazendo as seguintes considerações:

No desenvolvimento do projeto de uma estrutura de madeira, é preciso assegurar uma durabilidade mínima compatível com sua finalidade e com o investimento a ser realizado”.

Os componentes de uma construção de madeira podem estar expostos a diferentes classes de riscos de biodeterioração em função dos organismos xilófagos presentes no local e das condições ambientais que possam favorecer o ataque.

Na execução das estruturas de madeira, devem ser empregadas espécies que apresentem boa resistência natural a biodeterioração ou que apresentem boa permeabilidade aos líquidos preservativos e que sejam submetidas a tratamentos preservativos adequados e seguros para as estruturas.

Porém apesar da norma considerar a questão da durabilidade mínima e da escolha das espécies, esta norma ainda não prevê critérios para tais decisões, implicando assim em uma avaliação subjetiva destas questões por parte do profissional responsável pelo desenvolvimento do projeto.

Assim podem ser questionados para uma futura revisão de norma:

1. *O que é uma durabilidade mínima compatível? Como avaliá-la? Como determiná-la?*
2. *Quais as espécies que apresentam boa resistência natural a biodeterioração ou boa permeabilidade aos líquidos preservativos?*

São falhas deste tipo, que estudos de durabilidade, patologias e recuperação devem abordar.

1.4 Justificativa do trabalho

Na Austrália, estima-se que existam 10 milhões de postes de madeira em serviço, com um valor de rede elétrica de \$ 10 bilhões, e anualmente os três estados do leste consomem 130.000 peças, com custo total de substituição de aproximadamente de \$ 26 milhões, (CREWS; HERRIGON; BOUGHTON, 1998).

Morrel (1996) comenta que um programa de manutenção de postes resulta no aumento da vida útil dos postes em serviço. A NEW YORK STATE ELETRIC & GAS CORP. utiliza um tamanho médio de postes de madeira cravados, com custo de substituição de US\$ 1,3 bilhões, com estimativa anual de economizar US\$ 53 milhões, devido os resultados do programa de manutenção. Continua descrevendo vários métodos de tratamento dos postes na região do afloramento, porém não cita a metodologia de reforço estrutural.

Bottazzo (1998), avaliando o sistema de manutenção de poste de madeira da CESP - COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, conclui que:

- A manutenção de um poste de madeira apresenta um custo de apenas 13% em relação ao custo de substituição do poste;
- Os benefícios podem ser ainda maiores se considerar os lucros cessantes decorrentes da desenergização do circuito para a substituição do poste;
- A manutenção evita os grandes desembolsos, consequentes da substituição, possibilitando que sejam efetuadas paulatinamente no que consiste em uma grande vantagem nestas épocas de escassez de recursos;

A Empresa LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A., concessionária de distribuição de energia no Estado do Rio de Janeiro, ao realizar um estudo piloto de manutenção de postes de madeira, e considerando uma vida útil do poste de 42 anos, previu um benefício anual de R\$ 2.200.000,00, já sendo considerado também o lucro cessante decorrente do desligamento do trecho da linha de distribuição aérea.

Não se pode permitir que um material nobre e renovável como a madeira, seja desprezado e deixado de lado em um momento que a sociedade mundial tem-se voltado cada vez mais para a sustentabilidade. A possibilidade de uma maior e melhor utilização racional da madeira como material de construção, vem ao encontro da necessidade da obtenção conhecimento de sistemas e metodologias para a execução de reparos e reabilitação de estruturas deterioradas, (FREITAS; CALIL JÚNIOR, 2004).

1.5 Objetivos do estudo

A seguir são descritos os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.5.1 Objetivos gerais

Os objetivos gerais do trabalho são:

- Melhorar o conhecimento dos processos de degradação da madeira;
- Contribuir para a maior e melhor utilização dos postes de madeira;
- Contribuir para a inserção da metodologia de perfuração controlada na avaliação de postes e de estruturas de madeira, no meio técnico-científico nacional;

1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar e aplicar o modelo proposto por Leicester et al. (2003) às cidades do Estado de São Paulo;
- Propor a simplificação do índice climático proposto por Leicester et al. (2003);
- Propor um modelo de índice climático ao Estado de São Paulo;
- Utilizar a perfuração controlada como nova metodologia de inspeção de poste de madeira;
- Verificar a existência de variáveis que contribuam para a degradação dos postes de madeira em serviço;

2 DURABILIDADE, CONFIABILIDADE E PATOLOGIAS

Nenhum material é inerentemente durável devido as interações ambientais, e micro estruturais, conseqüentemente as propriedades dos materiais mudam com o decorrer do tempo, admitindo-se que este atingiu o estado limite de utilização, quando suas propriedades sob dadas condições de uso deterioram a um ponto que a continuação do uso deste material é considerada, como insegura ou antieconômica, (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Manzin; Vezzoli (2005) definem a vida útil como a medida do tempo de um produto e seus materiais, em que nas condições normais de uso (isto é, não posto em condições de *stress* além dos limites aceitáveis) podem durar conservando as próprias capacidades (serventia, rendimento, etc.) e o próprio comportamento, em um nível padrão preestabelecido.

Segundo Valle et al. (2006), hoje em dia é cada vez mais evidente a preocupação com a qualidade e durabilidade das edificações, com as diretrizes de projeto e execução prescrevendo cuidados que aumentam as probabilidades de conservação da integridade física e mecânica das construções pelo período previsto para sua vida útil. Para tal, a realização de inspeções periódicas que permitem a identificação de pontos de degradação no ciclo inicial, conduz a uma intervenção mais eficiente no ambiente construído. Entretanto, a prática de tais procedimentos de manutenção ainda não se tornou um hábito para a humanidade, o que se reflete no mau estado de conservação das edificações em geral, (VALLE et al., 2006).

No começo da década de 1980 surge o conceito de vida útil, perante a necessidade de estimar desde o projeto, o tempo em serviço de uma estrutura de concreto armado, devido este bem como todos os outros materiais possuir uma duração limitada em condições aceitáveis, com implicações econômicas, tecnológicas e sociais, Borges (1998)

A ABNT considerando edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, no projeto de norma 02:136.01.001:2002¹, definem alguns conceitos importantes, porém ainda não normatizados tais como desempenho, vida útil, vida útil de projeto, vida útil residual e vida total. A representação destes conceitos é feita pela Figura 2.1.

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas – Projeto 02:136.01.001:2002 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimento – Parte 1: Requisitos gerais.

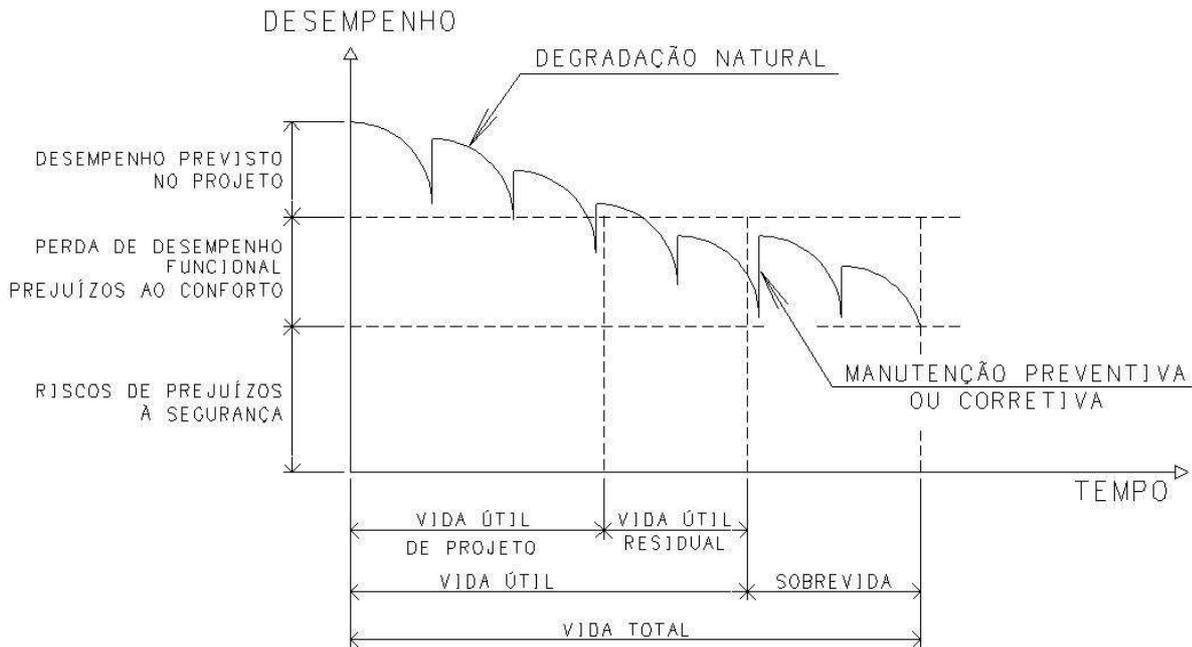


FIGURA 2.1 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento

- **Desempenho:** comportamento em uso de um produto, frente às condições de exposição;
- **Durabilidade:** capacidade de o produto conservar ao longo do tempo propriedades compatíveis com a utilização prevista, sob condições de instalação, operação e manutenção especificadas pelo seu produtor e/ou fornecedor. Para a madeira, propriedade de resistir em maior ou menor grau, ao ataque de agentes destruidores, sob condição natural de uso.
- **Vida útil:** a partir da disponibilização ao consumidor, período de tempo durante o qual o produto pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene. A partir do atual estado da arte é impossível estabelecer com precisão esse período. Recorrendo-se ao conhecimento disponível sobre os agentes agressivos, os diferentes processos degenerativos e as características físicas e químicas dos materiais constituintes de um produto, pode-se apenas estabelecer estimativas tecnicamente fundamentadas da vida útil de projeto.
- **Vida útil de projeto:** a partir da disponibilização ao consumidor, período estimado de tempo em que o componente, elemento, instalação ou sistema construtivo atende todos os critérios previstos nesta norma, no respectivo nível de desempenho informado pelo fornecedor, devendo-se para tanto cumprir programa de manutenção por ele especificado. Para o atendimento à vida útil de projeto, mantidas as condições de exposição inicialmente presentes, o produto deverá ser aplicado, utilizando e mantido em estrita obediência às especificações do fornecedor;

- **Vida útil residual:** período de tempo, após a vida útil de projeto, em que o componente, elemento, instalação ou sistema construtivo vai apresentando decréscimo continuado do desempenho em função do uso e/ou do envelhecimento natural. Nesta fase, onde ainda são mantidas condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene, para retomarem-se níveis adequados de estanqueidade, durabilidade, conforto térmico e acústico etc, há necessidade de manutenções e reformas mais dispendiosas;
- **Vida total:** período de tempo que compreende a vida útil de projeto, a vida útil residual e uma sobrevida na qual passa a existir a possibilidade de que os níveis de segurança comecem a ser perigosamente afetados;
- O desempenho de um material ou elemento, em função da degradação natural devido o meio-ambiente diminui ao longo do tempo, porém com a realização de manutenções preventivas ou corretivas tal desempenho é levado para níveis acima do estado anterior. Entretanto, a degradação natural não é cessada, desta forma o desempenho em questão novamente entra em declínio, Figura 2.1.

Segundo Fusco (1976a) tendo em vista evitar-se que reações psicológicas dos usuários das construções levem à situações de risco de danos pessoais, como por exemplo, às situações de pânico coletivo, deve entender-se por estrutura segura aquela que atenda aos seguintes requisitos intuitivos de segurança:

- Durante a vida útil, a estrutura deve garantir a permanência das características da construção, a um custo razoável de manutenção;
- Em condições normais de utilização, a construção não deve ter aparência que cause inquietação aos usuários ou ao público em geral, nem apresentar falsos sinais de alarme que lancem suspeitas sobre sua segurança;
- Em situações não previstas de utilização ou de manutenção, a estrutura deve apresentar sinais visíveis de advertência de eventuais estados perigosos.

2.1 Confiabilidade e segurança

Aggarwal (1993) relata que o conceito de confiabilidade tem sido interpretado de muitas maneiras em numerosos trabalhos, sendo que a definição a que tem sido aceita por muitas autoridades contemporâneas em confiabilidade, é dada pela *Electronics Industries Association (EIA)*:

A confiabilidade de um item (um componente, um sistema complexo, um programa de computador ou um ser humano) é definida como a probabilidade de executar seu propósito adequadamente para o período de tempo pretendido sob operação e condições ambientais encontradas.

A noção intuitiva de segurança dos sistemas materiais está ligada à idéia de sobrevivência aos riscos inerentes à sua utilização normal, assim uma estrutura é considerada segura quando existe certa garantia de que durante a sua vida útil não serão atingidos estados de desempenho patológicos. A idéia de segurança está, portanto, intimamente ligada a um prazo de duração da vida útil do sistema, pois a medida que aumenta esse prazo também cresce o risco de aparecimento de estados excepcionais de utilização, bem como o risco de deterioração do próprio sistema, (FUSCO, 1976a).

Os estados de desempenho, nos quais surgem danos estruturais que caracterizam um esgotamento da capacidade de suporte da estrutura, são designados por estados de ruína, e a utilização ulterior dessa construção somente será possível após a realização de obras de reparo, de reforço, ou mesmo de substituição da estrutura, (FUSCO, 1976a).

Um sistema é confiável quando existe uma garantia razoável de sua permanência em condições de utilização normal. A confiabilidade do sistema é a garantia de sua permanência em serviço. Frequentemente, a ruína está associada ou às forças da natureza, contra as quais não há controle operacional possível, ou à deterioração dos materiais, cuja constatação é impossível. Desse modo, admitir-se que sempre existe certa probabilidade de ruína.

Considerando-se a aleatoriedade das ações, elas ou os esforços deles decorrentes podem ser representados de forma simbólica pela Eq. 2.1:

$$S = S(X_1, X_2, \dots, X_m; C_X) \quad (2.1)$$

onde as variáveis X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) medem as grandezas aleatórias que afetam o nível de solicitação, simbolizado por S , e onde C_X simboliza um conjunto de constantes e de funções determinísticas que relacionam X_i a S , Fusco (1976b).

De forma análoga, a capacidade resistente da estrutura pode ser posta sob a forma simbólica:

$$R = R(R_1, R_2, \dots, R_m; C_Y) \quad (2.2)$$

Onde as variáveis Y_j ($j = 1, 2, \dots, m$) medem as grandezas aleatórias que afetam as capacidade resistente, simbolizada por R , e onde C_Y simboliza um conjunto de constantes e de funções determinísticas que relacionam Y_j a R , Fusco (1976b).

Para a efetiva determinação das condições de ruínas, tanto o nível de solicitações S quanto a capacidade resistente R devem ser medidos nas mesmas variáveis Z_p ($p = 1, 2, \dots$), sendo

$$Z_{S,p} = Z_p(X_1, X_2, \dots, X_m; C_X) \quad (2.3)$$

$$Z_{R,p} = Z_p(Y_1, Y_2, \dots, Y_m; C_Y) \quad (2.4)$$

Onde “ p ” é número de efeitos estruturais de interesse para a segurança.

Admitindo-se que R e S sejam determinados por uma única variável Z e que a condição de ruína seja expressa por

$$Z_R \leq Z_S \quad (2.5)$$

a probabilidade de ruína será dada por

$$P_{\text{ruína}} = P(Z_R \leq Z_S) \quad (2.6)$$

Que no caso geral pode ser posta sob a forma simbólica

$$P_{\text{ruína}} = P(R \leq S) \quad (2.7)$$

Conhecidas as funções de densidade de probabilidade $f(S) = f(Z_S)$ e $f(R) = f(Z_R)$, a probabilidade de que Z_R seja menor ou igual a certo valor z é dado pela Eq. 2.8, Figura 2.2.

$$P(Z_R \leq z) = \int_{-\infty}^z F_R(z) dz \quad (2.8)$$

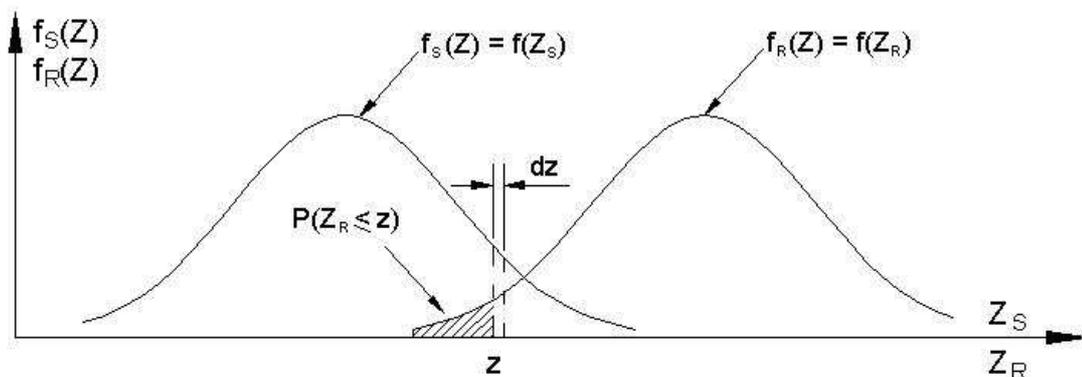


FIGURA 2.2 – Probabilidade de ruína – (FUSCO, 1976b)

2.2 Patologia e terapia

Helene (1992) ao tratar sobre reforço de estruturas de concreto, faz uma importante contribuição ao meio técnico, definindo termos no ramo das patologias das construções.

a) Patologia: parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

- **Sintomas:** salvo raras exceções, os problemas patológicos, apresentam manifestação externa característica, a partir da qual se pode deduzir qual a natureza, origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como se pode estimar suas prováveis consequências. Esses sintomas, também denominados lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas e experientes observações visuais;
- **Mecanismo:** todo problema patológico, ocorre a partir de um processo, de um mecanismo, podendo ser físico, químico, biológico ou mecânico, e até mesmo a ser a interação de dois ou mais destes. Conhecer o mecanismo do problema é fundamental para uma terapêutica adequada;
- **Origem:** o processo de construção e uso pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso, sendo esta última etapa mais longa, que envolve a operação e manutenção das obras civis. Se por um lado, as quatro primeiras etapas envolvem um período relativamente curto – em geral menos de dois anos – por outro lado, as construções devem ser utilizadas durante períodos longos. Assim os problemas patológicos só se manifestam após o início da execução propriamente dita. Normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso. Entretanto uma elevada porcentagem das manifestações patológicas tem origem nas etapas de planejamento e projeto. As falhas de planejamento ou de projeto são, em geral, mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução, Figura 2.3.



FIGURA 2.3 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civil – (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1992)

- **Causas:** os agentes causadores dos problemas patológicos podem ser vários: cargas, variação da umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao material, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos e outros;
 - **Consequências:** um diagnóstico se completa com algumas considerações sobre as consequências do problema no comportamento geral da estrutura, ou seja, um prognóstico da questão. De forma geral, costuma-se separar as considerações em dois tipos: as que afetam as condições de segurança (associadas ao Estado Limite Último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, etc., ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da construção (associadas aos Estados Limites de Utilização). Os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial;
- b) Terapia:** estuda a correção e a solução desses problemas patológicos. Para obter êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido.
- **Procedimento:** a escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto da correção;

2.3 O custo da durabilidade

Na busca da segurança estrutural é preciso salientar um fato importante que ocorre com todos os materiais estruturais. As catástrofes nunca foram provocadas pela etapa de análise de projeto, isto é, as catástrofes nunca

decorreram de erro de cálculo estrutural. As catástrofes sempre decorreram de deficiência de concepção de detalhamento ou manutenção das estruturas, (FUSCO, 1989a).

Segundo Kropf (1998) de todas as estruturas de madeira que tem desaparecido com o tempo, muito poucas falharam devido a erros estruturais, mas muitas têm degradado progressivamente como consequência de ataque por fungos, não sendo considerados os térmitas devido estes não existirem na Suíça.

Tecendo comentários de vantagens e desvantagens quanto a durabilidade em função de projetos e tratamentos preservativos, Kropf (1998) propõe estratégias para aumentar a durabilidade das estruturas de madeira, sendo elas:

- Melhores detalhes de projetos, seguidos por uma cuidadosa execução;
- Aplicação de camadas superficiais de preservativos químicos, quando apropriados;
- Prover manutenção periódica e limpeza, para manter as características de durabilidade em toda a estrutura;

Considerando a vida útil inteira, a madeira não é mais cara para a manutenção que outros materiais, mas os reparos devem começar alguns anos mais cedo em relação ao aço ou concreto, (KROPF, 1998).

Helene (1992) afirma que as correções serão mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quando mais cedo executadas. Continuando, Helene (1992) cita a chamada “Lei de Sitter”², que mostra um custo crescente em cada fase da estrutura segundo uma progressão geométrica (de razão 5), para as estruturas de concreto. Tal lei pode ser descrita e exemplificada conforme segue:

- **Projeto:** toda medida tomada em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, implica num custo que pode ser associado ao número 1 (um);
- **Execução:** toda medida extra-projeto, tomada durante a execução propriamente dita, incluindo nesse período a obra recém-construída, implica num custo 5 (cinco) vezes superior ao custo que teria sido acarretado se esta medida tivesse sido tomada na fase de projeto, para obter-se o mesmo “grau” de proteção e durabilidade da estrutura;
- **Manutenção preventiva:** toda medida tomada com antecedência e previsão, durante o período de uso e manutenção da estrutura, pode ser associada a um custo 5 (cinco) vezes menor que aquele necessário à correção dos problemas gerados a partir de uma não intervenção preventiva tomada como antecedência à manifestação explícita de patologias. Ao mesmo tempo estará associada a um custo 25 (vinte e cinco) vez superior àquele que

² SITTER, W.R. Costs for service life optimization. The “law of fives” In: CEB-RILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, on 18-20 May 1983. Copenhagen, 1984. (Workshop Report by Steen Rostam).

teria acarretado uma decisão de projeto para obtenção do mesmo “grau” de proteção e durabilidade da estrutura;

- **Manutenção corretiva:** correspondem aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, correção de problemas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo de 125 (cento e vinte e cinco) vezes superior ao custo das medidas que poderiam ter sido tomadas no momento do projeto e que implicariam num mesmo “grau” de proteção e durabilidade que se estime da obra a partir da correção.

Desenvolvido tendo como referência as estruturas de concreto, este estudo provavelmente não representa as mesmas proporções de cada fase (projeto, execução, manutenções preventivas e corretivas) para as estruturas de madeira, e até mesmo para as estruturas de aço, visto que cada material possui suas próprias características para tais fases. Entretanto mostra que independentemente do material utilizado, quanto mais se demorar a vislumbra uma maior durabilidade de uma estrutura, maior será o custo para tal.

3 DURABILIDADE, DEGRADAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

A natureza biológica da madeira a torna suscetível a agressões por fungos e insetos, entretanto a secagem, a preservação e a associação a outros materiais nos locais das construções mais sujeitos a ataques de outros, tornam as estruturas de madeira tão duráveis quanto as de aço ou concreto, desde que sua concepção respeite certas regras de proteção do material, (FUSCO, 1989).

Enquanto se pensa que a madeira tem uma probabilidade de vida útil curta devido ao risco de fogo ou biodegradação, O'Connor; Dangerfield (2004) obtiveram resultados demonstrando que edifícios de madeira possuem os períodos de vida útil maior. Ao estudarem os benefícios ambientais das construções de madeira, foram obtidos resultados surpreendentes demonstrando que maioria de edifícios de madeira demolidos são mais velhos que 75 anos, enquanto mais da metade de todos os edifícios concretos demolidos entrou na categoria entre 26-50 anos, Figura 3.1.

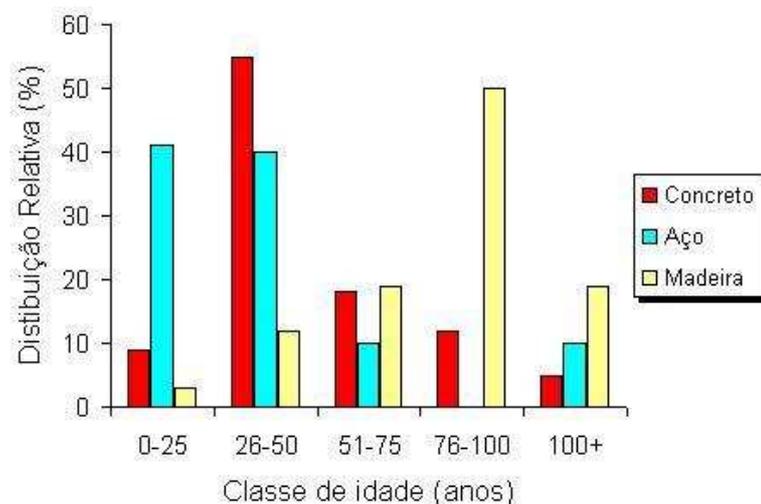


FIGURA 3.1 – Distribuição de edifícios demolidos por material estrutural – (O'CONNOR; DANGERFIELD, 2005)

A vida útil de uma madeira é determinada, de uma parte, por aspectos inerentes a sua natureza e de outra, pelas condições especiais de serviço, (PRID, 1988).

3.1 Durabilidade natural da madeira

Desde o momento em que se corta uma árvore tornando-se um tecido morto, ela é apetecida por diversos organismos que vão à ela, seja em busca de alimento ou de um lugar que lhes proporcione seu ciclo de vida. Qualquer que seja seu objetivo, a presença de um organismo estranho na madeira, em todos os casos produz uma deterioração que pode influenciar em maior ou menor grau em sua vida útil, (PRID, 1988).

A madeira apresenta três principais componentes: celulose, hemicelulose e lignina; e em menores quantidades estão presentes materiais nitrogenosos, pectina, amido, açúcares, havendo na natureza diversos organismos capazes de utilizar, direta ou indiretamente, aqueles componentes como fonte de energia e com isso provocar a biodeterioração¹ da madeira, (CAVALCANTE, 1982).

Segundo Castro Silva (2003) o alborno é a parte da madeira que apresenta materiais nutritivos armazenados, o que torna mais susceptível ao ataque de agentes biológicos. Quanto ao cerne, normalmente, apresenta maior durabilidade natural, devido à ausência de materiais nutritivos, e principalmente, à presença de extrativos.

Entretanto, Lopez; Milano (1986) relata que faz parte do conhecimento popular que diferentes espécies de madeira podem apresentar durabilidades bastante distintas.

O termo durabilidade se refere à capacidade natural da madeira resistir ao ataque de fungos, insetos, desgaste mecânico, fogo ou ação dos agentes atmosféricos. Porém em função da preponderante dos fungos sobre os outros agentes, a durabilidade é definida geralmente como a resistência da madeira ao apodrecimento de ação micósica, (PRID, 1988).

Para estabelecer a classificação da durabilidade natural, Castro Silva (2003) relata que se leva em conta apenas a resistência natural do cerne, uma vez que o alborno de todas as madeiras é considerado de baixa resistência, e cita a seguinte escala de resistência natural, Tabela 3.1.

¹ Biodeterioração é definida como alterações indesejáveis provocadas por organismos, (CAVALCANTE, 1982).

TABELA 3.1 – Classificação da durabilidade natural das madeiras – (CASTRO SILVA, 2003)

Classificação de durabilidade	Nível
Muito durável;	1
Durável;	2
Moderadamente durável;	3
Pouco durável;	4
Não durável	5

Conforme Simpson; TenWolde (1999), considerável diferença na vida útil pode ser obtida a partir de peças de madeira cortadas de uma mesma espécie, até mesmo proveniente da mesma árvore, e usadas sob condições similares. Além disso Simpson; TenWolde (1999), relatam que a magnitude da variação na resistência ao apodrecimento de arvores individuais ou amostras de madeira de uma mesma espécie é muito maior para a maioria das espécies mais resistentes que para as ligeiramente ou não-resistentes.

CSIRO (1997) apud Silva Oliveira; Castro Silva (2001) apresenta uma classificação de algumas espécies de eucalipto que apresentam satisfatória durabilidade natural, tanto ao apodrecimento quanto aos cupins, Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Durabilidade natural do cerne de árvores adulta de Eucaliptus em contato com o solo – (CSIRO, 1997 apud SILVA OLIVEIRA; CASTRO SILVA, 2001)

Espécie	Apodrecimento*	Apodrecimento + Térmitas
<i>E. pilularis</i>	MD – D	MD
<i>E. polyanthemos</i>	AD	AD
<i>E. melliodora</i>	AD	AD
<i>E. saligna</i>	MD – D	MD
<i>E. tereticornis</i>	D – AD	D – AD
<i>E. caldulensis</i>	D	D
<i>E. grandis</i>	MD	MD
<i>E. Maculata</i>	D	D
<i>E. cladocalyx</i>	AD	AD
<i>E. paniculata</i>	AD	AD
<i>E. sideroxylon</i>	AD	AD
<i>E. marginata</i>	MD – D	MD – D
<i>E. diversicolor</i>	MD – D	MD
<i>E. resinifera</i>	D	D
<i>E. acmenioides</i>	AD	AD
<i>E. cloeziana</i>	AD	AD
<i>E. microcorys</i>	AD	AD
<i>E. wandoo</i>	AD	AD
<i>E. longifolia</i>	AD	AD

(*) MD – moderadamente durável; D – durável; AD – altamente durável

3.2 Agentes de biodegradação da madeira

Segundo Cavalcante (1982) os principais grupos de organismos xilófagos são as bactérias, fungos, insetos, moluscos, crustáceos, etc.

Cavalcante (1982) e IPT (2001) relatam que os fungos apodrecedores são responsáveis por profundas alterações nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido à progressiva destruição das moléculas que constituem suas paredes celulares.

Oliveira et al. (1986) descreve sucessão ecológica de microorganismos em madeiras com ou sem contato com o solo têm mostrado a existência de seis grupos fisiológicos e nichos ecológicos que ocorrem sequencialmente nesta ordem:

a) Bactérias;

- b) Bolores Primários;
- c) Fungos Manchadores;
- d) Fungos de podridão mole;
- e) Basidiomicetos apodrecedores;
- f) Bolores Secundários;

As bactérias desempenham um papel ecológico bastante importante durante a colonização da madeira, sendo muitas delas capazes de decompor as membranas das pontuações, facilitando as trocas gasosas e que favorece o posterior desenvolvimento dos fungos que são aeróbios, facilitando a passagem das hifas de uma célula para outra, favorecendo o posterior processo de colonização por fungos. Além disso, algumas bactérias que colonizam a madeira nestes estágios iniciais promovem a fixação de nitrogênio, baixando a relação C/N e favorecendo a decomposição da madeira, que normalmente apresenta um alto teor de nitrogênio.

Após a colonização predominante das bactérias, aparecem os bolores primários e fungos manchadores, ocorrendo quase que concomitantemente, ocupando nichos ecológicos bastante próximos. São Ascomicetos, Deuteromicetos e alguns Ficomicetos de crescimento rápido que se alimentam especialmente de carboidratos simples depositados no lúmen das células.

Com o desenvolvimento das bactérias, bolores primários e fungos manchadores, ocorrem à gradativa diminuição na quantidade de açúcares simples, facilmente metabolizáveis, de modo que passa a existir uma pressão ecológica no sentido de que sejam explorados os carboidratos de parede celular, surgindo a dominância dos fungos de podridão mole que são Ascomicetos e Deuteromicetos, cujas hifas desenvolvem-se dentro das paredes celulares e que decompõem, fundamentalmente, a celulose e hemicelulose.

O clímax da sucessão ocorre quando a população de fungos de podridão mole declina e é substituída por Basidiomicetos, os quais colonizam profundamente a madeira e decompõem os tecidos lenhosos numa velocidade normalmente bastante alta. Os Basidiomicetos capazes de decompor a madeira são divididos em dois tipos: fungos de podridão parda e fungos de podridão branca.

Juntamente com os Basidiomicetos e fungos de podridão mole, normalmente desenvolvem-se os bolores secundários que são Deuteromicetos e Ascomicetos, alguns dos quais apesar de apresentarem um sistema celulolítico demonstrável em laboratório, não são capazes de utilizar a celulose na parede celular não decomposta por outros organismos.

Tratando da decomposição dos resíduos orgânicos Moreira; Siqueira (2006) descreve os organismos presentes no solo, responsáveis pela degradação da celulose, hemicelulose e lignina.

Celulose: a decomposição da celulose no solo ocorre por ação de enzimas (celulases) produzidas por uma vasta e diversa população fúngica, pericialmente representantes dos gêneros *trichoderma*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Aspergellus*, *Fusarium* e *Phoma* e bactérias aeróbias e anaeróbias, como os exemplos a seguir:

- Anaeróbias e aeróbias facultativas: *Acetovibrio*, *Bacteróides*, *Butyrivibrio*, *Caldocellum*, *Clostridium*, *Erwinia*, *Eubacterium*, *Micromonospora*, *Pseudonocardia*, *Ruminococcus* e *Thermoanaerobacter*.
- Aeróbios e anaeróbios facultativos: *Acidothermus*, *Actinoplanes*, *Actnopolyspora*, *Archangium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Celvibrio*, *Corybacterium*, *Cytophaga*, *Frankia*, *Herpetosiphon*, *Micromonospora*, *Polyangium*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Sorangium*, *Sporocytophaga*, *Staphylococcus*, *Streptomomyces*, *Thermoactinomyces*, *Thermonospora*, *Xanthomonas*.

Hemicelulose: a decomposição da hemicelulose pode ser dificultada quando ela se liga a outras substâncias vegetais, como fibrilas de hemicelulose, quando formam pontes de hidrogênio com fibras na matriz da parede celular vegetal. Muitas enzimas são envolvidas na sua degradação, sendo geralmente produzidas por fungos, que parecem iniciar o ataque, seguidos por bactérias. Os actinomicetos exercem ação mais lenta e prolongada na decomposição. Bactérias do gênero *Bacillus* são especialistas na degradação da hemiceluloses do tipo xilanas.

Lignina: a degradação da lignina no solo dá-se, principalmente por grupos especializados de Basidomicetos pertencentes à ordem Agaricales e por alguns Ascomicetos. Entre os mais eficientes e mais estudados, tem-se *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete versicolor* e *Phanerochaete chrysosporium*, sendo o último exemplo típico de decompositor da lignina. Esses fungos degradam tanto a lignina quanto a celulose. Os fungos que causam a podridão-parda, que se diferenciam dos que causam a podridão-branca, por serem incapazes de metabolizar anéis aromáticos ou seus produtos alifáticos, são por isso, mais eficientes na decomposição da celulose e hemicelulose. Entre os fungos da podridão-parda, destacam-se: *Poria coeus*, *Gloephyllum trabeum*, *Lenzites trabea*. Os fungos da podridão-branca são tanto Ascomicetos quanto fungos imperfeitos, citando-se como gêneros principais: *Graphium*, *Monodictys*, *Allescheria*, *Paecilomyces*, *Populospora* e *Thielevia*.

O apodrecimento afeta inicialmente a dureza, a habilidade do material resistir impactos, sendo geralmente seguida por redução da resistência a flexão estática, e finalmente todas as propriedades de resistência da madeira são seriamente reduzidas, (HIGHLEY, 1999).

Oliveira et al. (1986) relata os efeitos do ataque de microorganismos na madeira.

a) Fungos Emboloradores

O emboloramento da madeira é produzido por fungos pertencentes aos grupos dos Ascomicetos, Deuteromicetos e, mais raramente Ficomietos, apresentando em sua superfície uma formação pulverulenta, de coloração variada, facilmente removível por raspagem que exponha a camada imediatamente inferior à superfície da madeira, sendo esta camada pulverulenta devido a produção, na superfície da madeira, de massas de esporos coloridos. O emboloramento é comum em toras recém abatidas e em peças de madeira serrada durante o período de secagem. Além disso, madeiras mantidas com alto teor de umidade ou secas, mas expostas continuamente em ambientes com umidade relativa acima de 90%, podem apresentar desenvolvimento de bolor.

A madeira intensamente embolorada apresenta redução na sua resistência ao impacto, sendo que as demais propriedades mecânicas são pouco afetadas.

A permeabilidade da madeira embolorada é bem maior que a madeira sadia, podendo provocar uma absorção desuniforme e variável de preservativos, especialmente em tratamentos que não envolvem pressão, além de permitir que peças de madeira reumidecidas pela chuva permaneçam por mais tempo com condições de umidade que favoreçam o apodrecimento.

Outro aspecto importante dos fungos emboloradores é a capacidade apresentada por muitas espécies, de tolerar altas concentrações de diversos preservativos, sendo inclusive capazes de detoxificar alguns destes produtos, (OLIVEIRA et al., 1986).

b) Fungos manchadores

Grande número de espécies de Ascomicetos e Deuteromicetos são capazes de provocar manchas profundas no alburno da madeira, as quais são devidas ao desenvolvimento, no interior da madeira, de hifas pigmentadas ou de hifas que secretam substâncias coloridas.

A madeira atacada por estes fungos apresentam no alburno áreas de coloração variável, geralmente de azul a cinza escuro, de forma e tamanho variáveis nas superfícies longitudinais, distribuindo-se radialmente, na seção transversal.

Os fungos manchadores ocorrem frequentemente em toras recém-abatidas e em peças de madeira serrada durante a secagem. Além disso, madeiras secas ao ar e posteriormente submetidas a reumedecimento, contínuo ou intermitente, podem ser colonizadas por este fungos.

Outra característica importante deste grupo de fungos é a elevada tolerância a diversos preservativos apresentadas por várias espécies, (OLIVEIRA et al., 1986).

c) Bactérias

O ataque por bactérias é comum em madeiras mantidas submersas por algumas semanas ou meses, ou submetidas a condições de anaerobiose, como em estacas de fundações. O fator mais importante para a instalação de bactérias na madeira é o elevado teor de umidade.

Macroscopicamente o ataque aparece como manchas pequenas, muitas vezes distribuídas aleatoriamente na superfície da madeira. Em estágios avançados de ataque pode ocorrer o amolecimento nestas áreas.

Algumas bactérias podem inativar preservativos, como exemplo a *Pseudomonas creosotensis*, a qual é capaz de detoxificar o creosoto em estacas marinha, permitindo o ataque de moluscos e crustáceos xilófagos, em peças de madeira preservadas expostas no mar, em regiões de ocorrência desta bactéria.

O ataque por bactérias aumenta a permeabilidade da madeira, podendo apresentar redução em suas características mecânicas, (OLIVEIRA et al., 1986).

d) Fungos de podridão mole

Diversas espécies de Ascomicetos e Deutoromicetos são capazes de desenvolver hifas no interior da parede secundária das células da madeira, produzindo a podridão mole.

A madeira atacada por este tipo de fungo apresenta-se com sua camada superficial escurecida e, quando úmida, bastante amolecida e facilmente removível.

A profundidade deste apodrecimento é variável de acordo com as condições de exposição, porém é sempre superficial. Em postes de eucalipto a profundidade pode ultrapassar dois centímetros, atingindo às vezes todo o alburno. A madeira com podridão mole, quando seca tende a apresentar pequenas fissuras paralelas e perpendiculares à grã.

A madeira atacada intensamente apresenta marcante redução em todas as suas características mecânicas, devido à destruição dos seus elementos estruturais. Porém, como este é um apodrecimento geralmente superficial, a sua importância para a peça como um todo vai depender muito da seção transversal da mesma, (OLIVEIRA et al., 1986).

e) Fungos de podridão parda

Este tipo de apodrecimento é provocado por Basidiomicetos que, como os fungos de podridão mole, nutrem-se dos hidratos de carbono componente da parede celular.

A madeira atacada pela podridão parda, apresenta-se em estágios iniciais, ligeiramente escurecida, assumindo à medida que o apodrecimento progride uma coloração pardo-escura. Ao contrário do que da podridão mole, este tipo de apodrecimento pode ocorrer em porções profundas da madeira. Em estágios avançados do ataque e quando

seca, tende a colapsar parcialmente, provocando a formação de trincas paralelas e perpendiculares à grã.

Além da alteração na coloração da madeira com podridão parda, a densidade desta madeira diminui. Quanto às propriedades mecânicas, estes fungos provocam um enfraquecimento bastante rápido na madeira, sendo que a resistência ao impacto é a propriedade mais rapidamente afetada. A madeira apodrecida é também mais permeável e ligeiramente mais higroscópica que a madeira sadia, (OLIVEIRA et al., 1986).

f) Fungos de podridão branca

Da mesma maneira que a podridão parda, a podridão branca é provocada por Basidiomicetos, porém neste caso, além dos hidratos de carbono, a lignina também é removida da parede celular e utilizada na nutrição do fungo.

A madeira com podridão branca apresenta-se mais clara que a sadia e mais macia que esta. Às vezes, as áreas apodrecidas podem estar delimitadas por linhas escuras. Em outros casos, pequenas áreas apodrecidas encontram-se intermeadas por áreas sadias. Neste caso, o apodrecimento recebe o nome de podridão branca em bolsas.

Com relação às alterações provocadas na madeira pelo fungos de podridão branca, à exceção coloração, os aspectos discutidos para a podridão parda são válidos também aqui. A única diferença é que a podridão parda provoca a diminuição nas características mecânicas da madeira mais rapidamente que a podridão branca, e que as quedas na densidade, ao final do processo são maiores nesta última, (OLIVEIRA et al., 1986).

3.2.1 Bioquímica do apodrecimento

Segundo Oliveira et al. (1986) a madeira é uma fonte de carbono, rica em calorias, apresentando a desvantagem de ser altamente insolúvel, devido ao alto grau de polimerização dos seus constituintes e para servir de fonte de energia para um microorganismo, estes constituintes devem ser quebrados em moléculas menores e solúveis em água.

O fato da madeira ser uma mistura bastante estável de polímeros exige a presença de catalisadores para que esta quebra ocorra mais rapidamente. As enzimas dos microorganismos, para atuarem como catalisadores sobre os constituintes da madeira devem ser capazes de agir fora da célula microbiana para que haja o necessário contacto enzima-substrato, (OLIVEIRA et al., 1986).

Diversos fatores estruturais afetam a decomposição dos diferentes polímeros constituintes da madeira pelos microorganismos. Um destes fatores é a umidade. A madeira não é decomposta se o seu teor de umidade estiver abaixo de um nível crítico, normalmente em torno de 30%, ou seja, ligeiramente acima do ponto de saturação das fibras. Este valor é importante, pois, nesta situação de umidade as paredes celulares atingem o máximo de inchamento, criando aberturas dentro da matriz polimérica. A difusão das enzimas pela parede exige a abertura desta matriz. Além disto, a água serve como um solvente, criando condições para que as enzimas sejam transportadas do microorganismo até o substrato e as moléculas resultantes da decomposição do substrato sejam trazidas até os microorganismos, (OLIVEIRA et al., 1986).

Quanto à umidade, a velocidade de crescimento dos fungos é extremamente baixa para valores de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, Figura 3.2 (a), sendo a menor umidade a qual os fungos crescem tem sido observado é 19%, e o limite superior corresponde a umidade de 80%, onde as cavidades celulares estão saturadas, (LEICESTER, 2001).

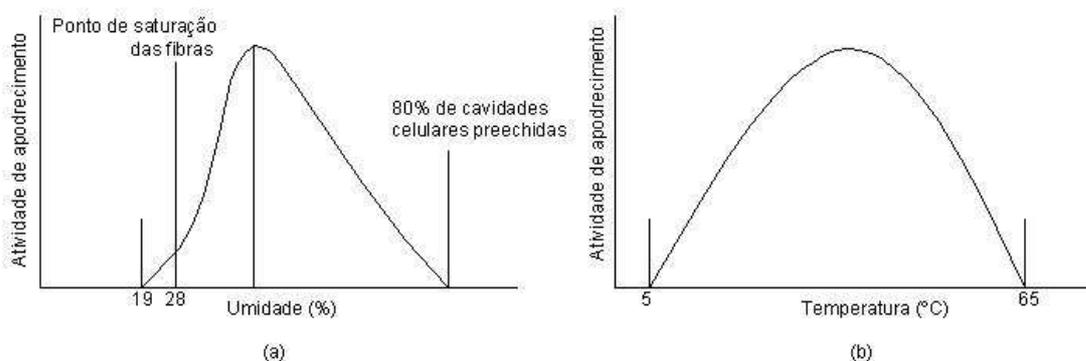


FIGURA 3.2 - Funções idealizadas para dois parâmetros de apodrecimento – (LEICESTER, 2001)

Segundo Moreira; Siqueira (2006) a atividade das células e de outros organismos é governada pelas leis da termodinâmica, conforme modelo de Arrhenius, Eq. 3.1, Figura 3.3.

$$K = A \cdot e^{-E/R \cdot T} \quad (3.1)$$

sendo

K = velocidade da reação;

A = frequência na qual as moléculas colidem;

E = energia de ativação da reação;

R = constante dos gases;

T = temperatura em graus Kelvin;

e = base de logaritmo natural - (2,71828);

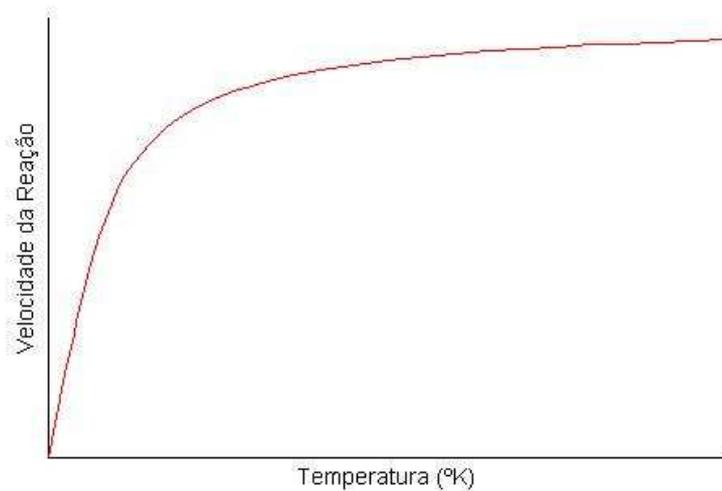


FIGURA 3.3 – Modelo de Arrhenius

As condições de crescimento dos fungos variam muito de espécie para espécie, mas como regra geral tem sido observado que para temperaturas abaixo de 5 °C os fungos viveram dormentes, enquanto para temperaturas acima de 65 °C estes serão mortos dentro de poucas horas, (LEICESTER, 2001).

Quanto ao pH, Cavalcante (1982) relata para o desenvolvimentos de fungos xilófagos se encontram entre 4,5 e 5,5, que coincidem como os valores de pH apresentados pela maioria das espécies de madeira. O mínimo valor de pH é de 2,0 e o máximo é pouco acima de 7,0.

3.3 Cupins, crustáceos e moluscos

Os cupins são insetos sociais que formam colônias compostas por diferentes categorias de indivíduos, estando estes presentes principalmente nas regiões tropicais do mundo e apresentam uma grande variedade de hábitos, (IPT, 2001).

Os térmitas subterrâneos desenvolvem suas colônias no solo, construindo seus túneis neste e a redor de obstruções para alcançara a madeira, sendo necessária a eles também uma constante umidade tanto na madeira em que se alimentam, bem como no solo em que se aninham, (HIGHLEY, 1999).

Trabalhando internamente à madeira, não há nenhuma evidência externa da presença dos térmitas, até que os adultos alados emergem e se aglomerem, no fim do verão e começo do outono, (MORRELL, 1996).

Leicester (2001) estudando modelo para predição da durabilidade de estruturas de madeira, além dos riscos biológicos de degradação, cita também:

- Degradação mecânica;
- Degradação química (incluindo perda da resistência na linha de colagem);
- Corrosão de conectores metálicos;

Para o caso de ataque por fungos e corrosão de conectores metálicos, assume-se que a resistência decresce com o tempo, Figura 3.3 (a). Em um tempo t_L , vida útil da construção, a resistência tem sido reduzida a uma proporção k_d da resistência original, a qual deve ser adequada para resistir a carga aplicada, (LEICESTER, 2001).

Porém para o caso de ataque de térmitas (cupins), é assumido que sendo a construção infestada, a falha ocorre relativamente rápido (tempo de ataque - t_A), assumindo que esta independe de outro tipo de agente, e sendo este tempo de ataque menor que o da vida útil da construção, Figura 3.2 (b), (LEICESTER, 2001).

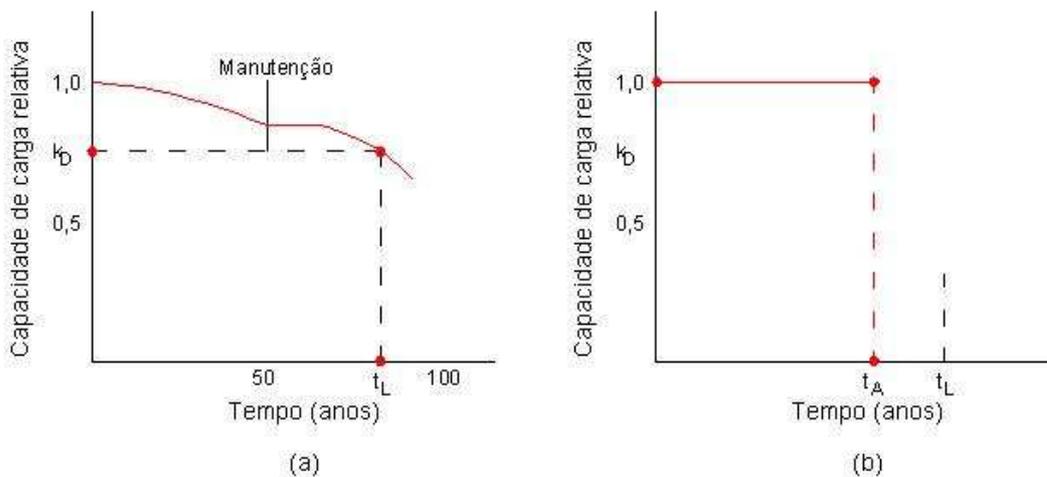


FIGURA 3.4 – Desempenho da durabilidade: (a) ataque por fungos ou corrosão; (b) ataque por térmitas – (LEICESTER, 2001)

O ataque de moluscos é geralmente bastante severo no interior da madeira, mas dificilmente perceptível na superfície, sendo que os moluscos de maior importância em relação ao ataque de madeiras são *Teredo spp*, *Bankia spp* e *Martesia spp*, (CAVALCANTE, 1982).

Já os crustáceos produzem inúmeros túneis logo abaixo da superfície da madeira e, quando a infestação é alta, pode haver dezenas de indivíduos por centímetro quadrado, sendo o gênero *Limnoria spp* mais danoso à madeira, (CAVALCANTE, 1982).

3.4 *Weathering* – Oliveira et al. (1986)

Quando a madeira é exposta às intempéries, fora de contato com o solo, vários fatores químicos, mecânicos e energéticos (luz) contribuem para a ocorrência de um fenômeno que recebe o nome genérico de *Weathering*. Esse fenômeno não deve ser confundido com qualquer forma de apodrecimento causado por microorganismos em condições favoráveis de umidade, temperatura e umidade.

A madeira exposta ao tempo torna-se rugosa, ocorre levantamento da grã, surge fendilhamento que podem aumentar de magnitude, as fibras podem ficar soltas e a peça pode sofrer empenamento. A superfície muda de cor, torna-se suja, pode ser atacada por fungos ficando com a aparência desagradável. Todos esses efeitos provocados pela ação conjunta da luz (UV, visível e IV), umidade (chuva e orvalho), temperatura e oxigênio podem ser chamados de *Weathering*.

De todos esses fatores, os fótons emitidos pela radiação solar são os componentes mais deletérios que promovem uma ampla gama de variações químicas na superfície da madeira. O outro fator que tem adquirido importância nos últimos anos é a poluição atmosférica (NO₂, SO₂ e O₃) que atua tanto na presença como na ausência de radiação ultravioleta.

Os fatores que promovem o *Weatering* são:

- Umidade: devido à contração e inchamento da parede celular;
- Luz: a degradação fotoquímica da madeira provocada pela luz solar ocorre rapidamente em sua superfície exposta. Inicialmente ocorre um amarelamento ou escurecimento da madeira, seguido, eventualmente, por uma coloração acinzentada. Essa alteração de cor pode ser relacionada à decomposição da lignina, sendo um fenômeno estritamente superficial (0,05 mm a 2,50 mm), e é resultante da radiação ultravioleta que inicia a fotodegradação.
- Calor: acelerando as velocidades das reações químicas;
- SO₂: promovem o amolecimento da lignina;
- Abrasão: provocada por partículas sólidas levadas pelo vento.

Embora o *Weathering* dependa de muitos fatores ambientais, há evidências que uma estreita banda de espectro eletromagnético, isto é, a luz ultravioleta (menos que 300 nm) seja responsável pela degradação foto-oxidativa primária da madeira.

A energia absorvida pela madeira através dos raios U.V. causa a dissolução das ligações das moléculas dos constituintes. Este processo produz radicais livres como produtos primários fotoquímicos. Independente da participação do oxigênio e água pode dar origem à despolimerização.

A madeira no seu todo é um excelente absorvedor de luz. Embora a celulose não seja, ela deve absorver luz intensamente abaixo de 200 nm, com indicações de alguma absorção entre 200 nm e 300 nm e uma cauda de absorção estendendo-se até 400 nm.

Em virtude de sua semelhança química, as hemiceluloses comportam-se de maneira análoga à celulose, quanto a absorção de U.V.

Como consequência, alguns componentes da madeira são capazes de absorver suficiente radiação U.V. que promovem reações fotoquímicas que, em última análise, levam à descoloração e degradação superficial da madeira, através da formação de radicais livres.

O *Weathering* da superfície da madeira produz a formação de fendas intercelular ou intracelulares. A resistência das ligações da parede celular é perdida nas proximidades da superfície da madeira. A medida que o weathering prossegue, a água da chuva remove as porções degradadas, dando margem à nova erosão. O processo de erosão das folhosas é mais lento que o das coníferas. Nesta últimas a erosão é mais intensa no lenho inicial do que no lenho tardio.

3.5 A influência do solo na degradação da madeira

Todas as obras de Engenharia Civil se assentam sobre o terreno e inevitavelmente requerem que o comportamento do solo seja devidamente considerado. A Mecânica dos Solos, que estuda o comportamento dos solos quando tensões são aplicadas, como nas fundações, ou aliviadas, no caso de escavações, ou perante o escoamento de água nos seus vazios, constitui-se numa Ciência de Engenharia, na qual o engenheiro civil se baseia para desenvolver seus projetos, (SOUZA PINTO, 2006).

Segundo Buckman; Brady (1966) os solos minerais são constituídos por quatro componentes principais: Minerais; Matéria Orgânica; Água e Ar. Tais constituintes estão intimamente misturados, tornando muitas vezes muito difícil uma separação satisfatória, (BUCKMAN; BRADY, 1966).

- **Matéria orgânica:** a matéria orgânica do solo representa uma acumulação de resíduos animais e vegetais parcialmente decompostos e novamente sintetizados. Tal material encontra-se num estado de decomposição ativa, submetido à ataques de microorganismos dos solos. O teor de matéria orgânica do solo é reduzido, apenas 3% a 5% do seu peso, no caso de solo mineral típico de superfície. Sua influência nas propriedades do solo e conseqüentemente no crescimento dos vegetais é, entretanto, muito maior do que este baixo teor leva acreditar. Em primeiro lugar, a matéria orgânica funciona como um “granulador” das partículas minerais, sendo o principal responsável

pelo aspecto frouxo e friável dos solos produtivos. Igualmente, a matéria orgânica é, no solo, uma das principais fontes de dois importantes elementos minerais, fósforo e enxofre; é essencialmente a única fonte de nitrogênio. Mediante seus efeitos nas condições físicas do solo, a matéria orgânica ajuda também a aumentar as quantidades de água que um solo pode absorver e a proporção desta água que fica disponível para o crescimento vegetal. Além disso, a matéria orgânica é a principal fonte de energia para os microorganismos do solo. Sem ela, a atividade bioquímica redundaria praticamente numa paralisação.

- **Água:** são necessárias duas conceituações principais sobre água do solo – a água é retida nos poros do solo em graus variáveis de persistência, dependendo da quantidade existente desta; e juntamente com os sais em solução a água do solo forma a denominada solução do solo, que é sobretudo importante como veículo para fornecer nutrientes aos vegetais em crescimento.
- **Ar:** o ar do solo difere do atmosférico sob vários aspectos. Em primeiro lugar, o ar do solo não é contínuo, localizando no labirinto de poros do solo, separados pelos sólidos do mesmo solo. Este fato responde pelas variações na sua composição, de um lugar para o outro. Em bolsões localizados, as reações que abracem os gases podem modificar profundamente a composição do ar do solo. Além disso, o ar do solo tem um teor de umidade mais elevado do que o atmosférico; a umidade relativa se aproxima dos 100% quando é ótima a umidade do solo. Finalmente, o teor de dióxido de carbono, é várias centenas de vezes, mais concentrado do que os 0,03% comumente encontrados na atmosfera. O oxigênio diminui de maneira semelhante e, em casos extremos, pode não atingir mais do que 10% a 12%, quando comparado a cerca de 20% na atmosfera normal. O teor e a composição do ar do solo é determinado, em grande parte pelas relações solo-água. Sendo uma mistura de gases, ao ar simplesmente se movimenta nestes poros do solo não ocupados pela água. Após uma chuva, os poros inicialmente abandonados pela água do solo são os grandes, seguidos dos poros de tamanho médio, à medida que a água é removida pela evaporação e pela utilização das plantas. Assim, o ar do solo ocupa geralmente os poros grandes e, à medida que o solo seca, os tamanhos intermediários. Isto explica a tendência dos solos com elevada proporção de poros minúsculos de terem aeração deficiente.

Segundo Buckman; Brady (1966) uma imensa quantidade de organismos vivem no solo, sendo que a grande maioria deles pertencentes ao reino vegetal.

TABELA 3.3 – Organismos comumente encontrados nos solos – (BUCKMAN; BRADY, 1966)

Animais	Macro	Nutrem-se principalmente de matérias vegetais; predatórios na sua maioria;	Pequenos mamíferos;
			Insetos, formigas besouros larvas;
			Miriápodes, Crustáceos, Acarinos, Lesmas e caracóis, Minhocas;
	Micro	Preparatórios ou parasitas que se nutrem de resíduos vegetais;	Formigas, Besouros, Acarinos, Centopéias, Aranhas;
			Nematóides, Protozoários, Rotíferos;
Vegetais			Raízes de plantas superiores;
			Actinomicetes de vários tipos
	Algas		Verdes; Azul-esverdeadas, Diatomáceas;
	Fungos		Fungos em forma de cogumelos, leveduras, bolores;
	Bactérias		Aeróbias, Anaeróbias;
		Autotróficas, heterotróficas;	

Na sua destreza em decompor os resíduos orgânicos, os fungos são mais versáteis e talvez mais persistentes que quaisquer outros grupos. Celulose, amido, resinas, e lignina, sucumbem prontamente aos seus ataques, como também açúcares e proteínas são facilmente afetados. Considerando de maior importância para a degradação da madeira em contato com o solo, segundo Buckman; Brady (1966) os fungos podem ser divididos nos três principais grupos: leveduras, bolores e macromicetes. Entretanto, as leveduras são encontradas em quantidades muito limitadas no solo, sendo de maior importância os bolores e macromicetes.

Os bolores se desenvolvem com vigor em solos ácidos, neutros ou alcalinos, sendo alguns mais favorecidos do que prejudicados por pH reduzido, sendo muito abundantes em solos ácidos onde as bactérias e actinomicetes podem lhes oferecer apenas competição moderada.

A existência de bolores ocorre em todos os horizontes dos perfis de solos, sendo mais numerosos nas camadas superficiais, onde há fartura de matéria orgânica e aeração adequada.

Em geral as maiores concentrações de bactérias se encontram nos horizontes de superfície, por serem aí mais favoráveis as condições de temperatura, umidade, aeração e alimentação. As bactérias autotróficas obtêm sua energia pela oxidação de componentes minerais, tais como amônio, enxofre e ferro, e a maioria de seu carbono pelo dióxido de carbono. Já as bactérias heterotróficas, sua energia e seu carbono provêm diretamente da matéria orgânica do solo. As bactérias de decomposição de finalidades gerais e as amonificantes assim como os fungos e os actinomicetes são de natureza heterotrófica.

Segundo Moreira, Siqueira (2006); a maioria dos solos tem pH entre 4,0 e 8,5, sendo que os horizontes superficiais de solos em climas mais úmidos são geralmente ácidos devido à lixiviação de base e decomposição da serrapilha. Já, os solos de regiões mais secas ou semi-áridas são geralmente alcalinos.

Os organismos do solo são influenciados pelas flutuações reativas da solução do solo. Em geral, verifica-se que nos solos minerais, bactérias e actinomicetes trabalham melhor com valores de pH intermediários e elevados, diminuindo esta atividade quando o pH diminui para valores abaixo de 5,5. Os fungos, entretanto são bastante facultativos, florescendo mais ou menos para valores baixos e altos de pH, porém para os valores intermediários e altos, sofrem a competição das bactérias e actinomicetes. Moreira; Siqueira (2006), também afirma que a menor incidência de fungos em solos com pH entre 6 e 8, é devido ao fato de que bactérias e actinomicetes sejam mais eficientes prejudicando, assim o estabelecimento de fungos.

A literatura da Mecânica dos Solos relata a interatividade dos solos finos (silte e argila) com a água, devido ao efeito de superfície. Devido ao diminuto tamanho das partículas fina de solo, existe na superfície destes uma carga elétrica negativa capaz de atrair o cátion H^+ , presente na água, através de ligações químicas secundárias, formando uma camada de água adsorvida. Desta forma os solos finos possuem maior facilidade de retenção de água, e por mais tempo.

Pode-se questionar se a maior e mais longa retenção de água no solo em contato com a madeira, propicia uma maior facilidade ao apodrecimento desta através dos microorganismos presentes.

3.6 A preservação da madeira

Segundo IPT (2001), tratar ou preservar a madeira é propiciar o aumento da sua resistência aos organismos deterioradores, pela aplicação de preservantes químicos.

A madeira é utilizada em várias situações², cada uma das quais apresentando uma composição peculiar de organismos, assim segundo Cavalcante (1982), os produtos preservativos necessitam possuir algumas características:

- Seja tóxico a uma grande variedade de organismos xilófagos;
- Baixa toxicidade para organismos não-xilófagos (inclusive o homem);
- Ação duradoura;
- Alta fixação à madeira;
- Não alterar as características da madeira (exceto a resistência aos organismos xilófagos);
- Não provocar alterações nos materiais com os quais a madeira tratada entrará em contato;
- Deve ser barato e facilmente encontrado no mercado;

Entretanto não há preservativo de madeira que apresente todas estas sete propriedades mencionadas, conseqüentemente a escolha de um preservativo estará sempre na dependência da situação em que a madeira será utilizada, (CAVALCANTE, 1982).

O Anexo E mostra os produtos preservativos de madeira atualmente registrados no IBAMA - Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis, com suas respectivas classificações de toxicidade e risco ambiental.

Considerando a vida útil de madeiras preservadas, Cavalcante (1982) cita outros fatores além das condições de serviço e das características inerentes à madeira, sendo:

- Toxicidade do preservativo;
- Tratabilidade da madeira;
- Quantidade de preservativo absorvida;
- Macrodistribuição do preservativo (profundidade em que o preservativo penetrou na madeira e sua distribuição);
- Microdistribuição do preservativo (penetração na parede celular ou deposição apenas no lúmen);
- Afinidade química entre o preservativo e a madeira;
- Características inerentes ao próprio preservativo como estabilidade química, lixiviabilidade, volatilidade, resistência a detoxificação microbiológica.

No que tange a penetração e distribuição do preservativo, Ibach (1999) relata que para a máxima proteção, é desejável selecionar para as quais a boa penetração é assegurada. O cerne de algumas espécies é dificilmente tratado, isto ocorrendo em função da baixa permeabilidade que este apresenta. Quanto ao alburno, em geral a maioria das

² (Dormente, poste, moirão, fundação, ancoradouro em água doce ou salgada, embarcações, componentes estruturais de construção, batente, porta, janela, taco, rodapé, telhado, móveis, etc).

espécies não dificulta o tratamento sob pressão. Para peças roliças como postes e estacas, a penetração do preservativo no alburno é importante para se conseguir uma proteção da zona externa do cerne, (IBACH, 1999).

Castro Silva (2003) cita uma escala de tratabilidade, a qual depende da facilidade de se imunizar a madeira, Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Classificação da tratabilidade das madeiras – (CASTRO SILVA, 2003)

Classificação	Nível
Fácil de tratar	1
Moderadamente fácil de tratar	2
Difícil de tratar	3
Muito difícil de tratar	4

3.6.1 Produtos preservativos

Conforme Cavalcante (1982), Ibach (1999) os produtos preservativos podem ser divididos nas duas categorias abaixo.

a) Oleossolúveis - produtos contendo misturas complexas de agentes fungicidas e/inseticidas, à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica. Os principais preservativos desta classe são:

- Creosoto – obtido da destilação de alcatrão de hulha (carvão), contendo mais de 200 substâncias diferentes agrupadas em hidrocarbonetos, ácidos e bases de alcatrão. Em função de sua gama de substâncias componentes, é altamente eficaz na preservação da madeira, sendo recomendado para situações de alta incidência de ataque de organismos xilófagos, como em contato com o solo ou água. Entretanto possui a desvantagem da peça após tratada ficar com a superfície oleosa, não aceitando pintura;
- Pentaclorofenol – obtido pela reação entre o fenol e o cloro, até a completa substituição de todos os átomos de hidrogênio por átomos de cloro. Encontrado sob a forma de pequenas escamas, é solúvel em vários tipos de óleos, desde petróleo bruto até óleos leves, como o diesel. É eficiente contra muitos organismos como fungos, mofo, fungos manchadores e insetos, mas não é eficiente contra brocas marinhas;

Tanto o creosoto bem como o pentaclorofenol, não devem ser aplicados em moradias ocupadas por humanos.

Em função da alta toxicidade, a fabricação e o uso comercial do Pentaclorofenol foi proibido no Brasil pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 132, DE 10 DE NOVEMBRO DE 2006, do IBAMA.

b) Hidrossolúveis: produtos contendo misturas mais ou menos complexas de sais metálicos, tais como boro, compostos de arsênico, cromo, cobre, zinco e fluorestos.

- CCA – Arseniato de cobre cromatado – um dos principais preservativos deste grupo, empregado em várias formulações, cada qual variando a porcentagem do cobre, cromo ou arsênico, sendo chamados de Tipo A, B e C, segundo a AWPA P5³, Tabela 3.5. O cromo provoca a precipitação de grande quantidade de cobre e arsênico, os quais são tóxicos à vários organismos xilófagos, sendo de grande eficiência este preservativo, com recomendação para as mais variadas situações.

TABELA 3.5 – Composição dos tres tipos de Arseniato de Cobre Cromatado – (IBACH, 1999)

Componente	CCA – Arseniato de Cobre Cromatado (partes em massa)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Trióxido de cromo	65,5	35,3	47,5
Oxido de Cobre	18,1	19,6	18,5
Pentóxido de Arsenico	16,4	45,1	34,0

Segundo Barillari et al. (2002) apesar do CCA apresentar ótimo desempenho quanto a biodeterioração, nos últimos anos, o uso de produtos a base de arsênio, tem sido questionado quanto à segurança, à saúde humana e ao meio-ambiente. Continuando Barillari et al. (2002) relata que as restrições ao uso de madeira tratada com CCA tem sido principalmente às utilizações em que a peça ficará em contato direto com o homem.

- CCB – Borato de cobre cromatado - tendo havido várias críticas às formulações contendo sais de cobre, cromo e arsênio, associadas aos possíveis perigos representados pelo último elemento e à rápida fixação que dificultaria o tratamento de madeiras impermeáveis, LAPAGE (1986). Assim, fez-se uma tentativa de substituí-lo pelo boro, começando a ser comercializado na Alemanha no início da década de 60.

Estudando tratamentos preservativos em pínus com CCA-A e CCB, Barillari, Jankowsky, Freitas (2002) realizou quarenta combinações em função de quatro espécies de pínus (*Pinus elliottii* var. *elliotii*, *Pinus caribea* Mor. var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa* Shied, *Pinus kesiya* Royle ex Gordon), dois produtos preservantes (CCA-A, CCB) e cinco níveis de retenção (R1=5 kg/m³, R2=6,5 kg/m³, R3=8 kg/m³, R4=9,5 kg/m³, R5=11 kg/m³), sendo o tratamento feito sob pressão pelo método BETHEL (célula-cheia).

³ AWPA – American Wood-Preservers' Association.

Para a avaliação Barillari, Jankowsky, Freitas (2002) utilizaram o critério proposto por (LEPAGE, 1970)⁴, Tabela 3.6.

TABELA 3.6 – Critério de avaliação do estado de sanidade – (BARILLARI; JANKOWSKY; FREITAS, 2002)

Estado de Sanidade	Índice de Comportamento
Sadio – nenhum ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos ou de térmitas	90
Ataque evidente mas moderado de fungos ou térmitas	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	40
Quebra / perda quase total de resistência	0

Como resultado do experimento, através de análise de variância não se detectou diferença significativa para o fator “espécie”, entretanto os fatores “nível de retenção” e “produto preservante”, apresentaram diferenças significativas entre si, assim como o efeito de interação “produto-retenção”, (BARILLARI; JANKOWSKY; FREITAS, 2002), Tabela 3.7.

TABELA 3.7 – Comparação entre os valores médios do Índice de Comportamento (I.C.) para os diferentes produtos, por nível de retenção (*) – (BARILLARI; JANKOWSKY; FREITAS, 2002)

Produto	Nível de Retenção	I.C. médio	Comparações			
CCA-A	R4	96,9	a			
CCA-A	R5	95,4	a			
CCA-A	R3	95,3	a	b		
CCA-A	R2	95,2	a	b		
CCB	R5	91,6	a	b	c	
CCA-A	R1	90,3	a	b	c	
CCB	R3	88,0	a	b	c	
CCB	R1	87,4	a	b	c	d
CCB	R4	84,7		b	c	d
CCB	R2	77,1				d

(*) Médias com pelo menos uma letra igual, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade.

Os menores Índices de Comportamento correspondem aos tratamentos com CCB/R2. Utilizando o “Ábaco de McLean”, Barillari, Jankowsky, Freitas (2002), estimam

⁴ LAPAGE, E.S. Método padrão sugerido pela IUFRO pra ensaios de campo com estacas de madeira. *Preservação de madeiras*. São Paulo, p.205-16, out./dez., 1970.

uma vida média da ordem de 30 anos para este tratamento, e para os demais, vida útil superior a 35 anos.

Tais estimativas são superiores aos valores obtidos quando utilizadas as especificações da NBR 8456/1984, (16% de falhas permitidas no fim do período de 15 anos) no Ábaco de McLean (Figura 3.5 e Anexo F). Para estas especificações obtém-se vida útil de aproximadamente 22 anos.

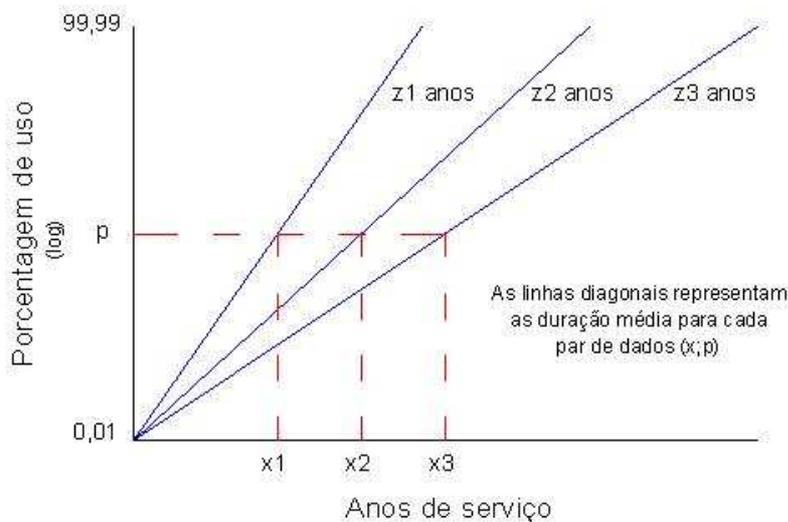


FIGURA 3.5 – Esquema do Ábaco de McLean

3.6.2 Métodos preservativos

Segundo IPT (2001) a seleção do método de aplicação é igualmente importante, sendo que produto algum poderá conferir proteção satisfatória à madeira se não for corretamente aplicado. O método de aplicação mais adequado dependerá da classe de risco ao qual a componente de madeira estará sujeita na edificação.

Todos os autores, Cavalcante (1982) Uriartt (1994) Ibach (1999) IPT (2001) entre outros, classificam os tratamentos preservativos em dois tipos básicos:

a) Processos de impregnação superficial (sem pressão): caracterizam-se por não utilizarem pressão externa para forçar a penetração do preservante na madeira. A impregnação é baseada nos princípios da difusão e/ou da capilaridade, proporcionando na maioria das vezes, uma penetração do preservante apenas superficial (2 a 3 mm), proporcionando uma proteção limitada contra organismos xilófagos, sendo recomendados para preservação de peças que estarão sujeitas a baixos riscos de deterioração biológica. São procedimentos econômicos, porém muitas vezes utilizando

preservativos inadequados. Os principais métodos são os de aspersão, pincelamento, imersão, difusão, banho quente-banho frio;

b) Processos de impregnação sob pressão: tais processos utilizam pressões efetivas para forçar a penetração do preservante, sendo os métodos mais eficientes na preservação da madeira. Eles promovem a penetração total do preservante em madeiras permeáveis de com teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (~30%). São realizados em instalações industriais, denominada usinas de preservação de madeiras, compostas basicamente por um autoclave e sistemas de tancagem e de bombeamento para operação dos preservativos. Estes processo são divididos em duas categorias:

- **Célula-cheia ou Bethell:** a madeira é colocada no cilindro de tratamento e um vácuo inicial, que extrai o ar do seu interior, em seguida o preservativo é introduzido no cilindro de tratamento e é forçado sob pressão, a penetrar na madeira, variando o período de pressão entre 1 a 5 horas. O preservativo remanescente é bombeado do cilindro de tratamento para o tanque de armazenamento, sendo proporcionado um vácuo final para remover o excesso de preservativo na madeira. Este método é chamada de célula-cheia pois o preservativo fica retido tanto na parede como no lúmen, das células da madeira;
- **Célula-vazia:** a madeira é colocada no cilindro e uma pequena pressão é aplicada, para comprimir o ar no interior da madeira. Sob esta pressão, o preservativo é introduzido no cilindro e depois a pressão é aumentada até o nível desejado, ali permanecendo até que preservativo suficiente penetre na madeira. Em seguida a pressão é liberada, provocando a expansão do ar contido no interior da madeira, resultando na expulsão de parte do preservativo presente no lúmen das células. O preservativo é bombeado do cilindro de tratamento para o tanque de armazenamento, com uma posterior aplicação de vácuo para que seja retirado algum preservativo que ainda se encontre no lumén das células. Este processo é chamado de Rueping. Outro processo chamado de Lowry, diferindo do primeiro apenas porque neste segundo processo, a pressão inicial aplicada não é realizada, sendo o produto preservativo introduzido no cilindro de tratamento à pressão atmosférica.

3.7 Preservação versus Custos

Segundo Rezende et al. (1993), o tratamento de madeira aumenta o tempo de serviço, mas também ocorre aumento no custo inicial, que pode ser compensado se a vida útil for suficientemente longa. Assim a tecnologia de preservação de madeira tem uma importante missão econômica e social a cumprir e que pode ser resumida pela Figura 3.5.

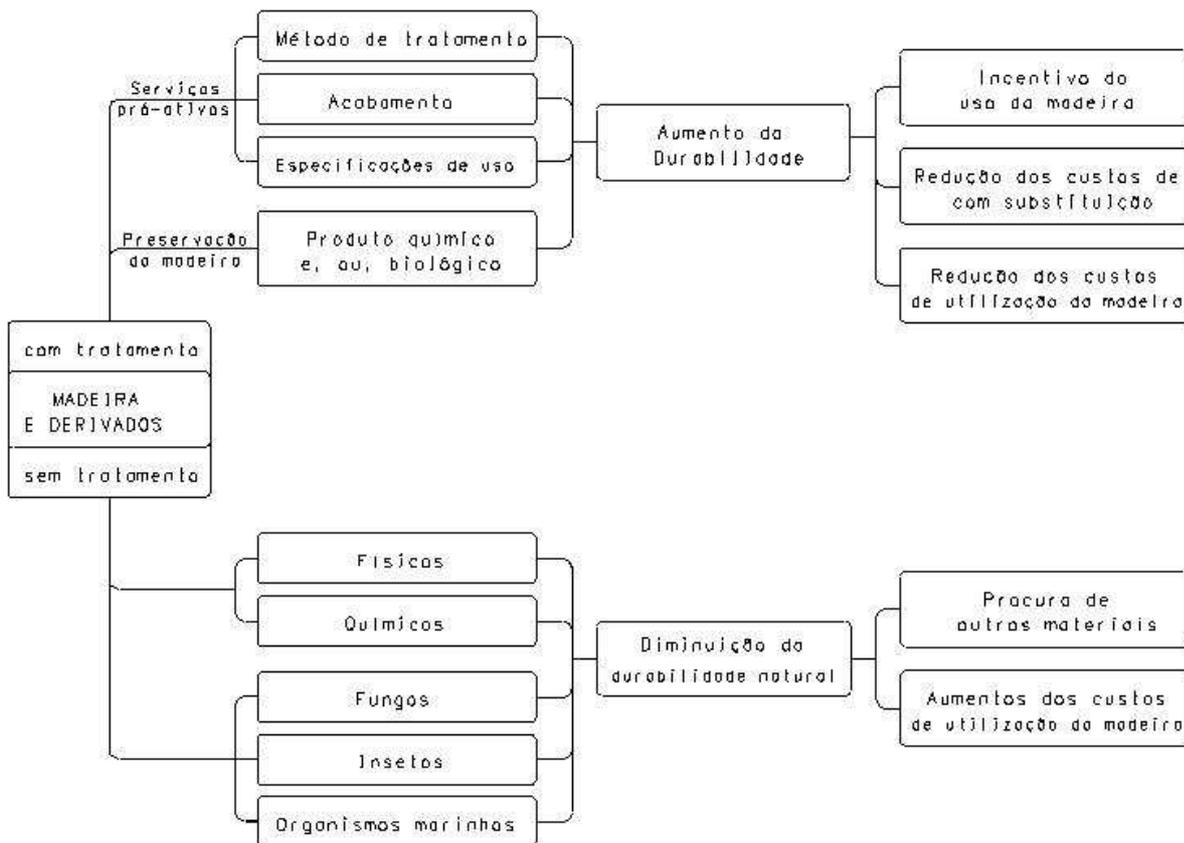


FIGURA 3.6 - Fluxograma da missão econômica e social da preservação da madeira – (REZENDE et al., 1993)

Sendo que o fator que propulsiona as empresas é o lucro, se estas usam madeira tratada é porque, antes de tudo ela acarreta um menor custo. O custo anual, que representa o valor total do investimento inicial mais juros, devidamente anualizados ao longo da vida útil da madeira tratada, deve ser inferior ao custo anual da madeira sem tratamento, (REZENDE et al, 1993).

Sacco (1983) com apoio, com apoio da ABPM – Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, e colaboração de 10 empresas do ramo da preservação, realiza

estudo de avaliação dos custos⁵ da produção de postes de eucalipto preservado, tomando como unidade padrão o poste 10 metros, considerando os seguintes itens:

- **Matérias-primas:** madeira, preservativo, impermeabilizante, amarração, plaqueta de identificação;
- **Mão de obra direta:** salários, encargos sociais;
- **Gastos gerais:** fretes e carretos, consertos e reposição de máquinas, combustível, energia elétrica, água, quebra de madeira, despesas diversas.

Os dados dos respectivos custos enviados pelas empresas possibilitou a obtenção dos seguintes valores médios para a produção de postes preservados, Tabela 3.8.

TABELA 3.8 – Custos de produção de postes de eucalipto preservado - (SACCO, 1983)⁶

	Componete	Porcentagem Média
Matérias-primas	Madeira	24,96
	Preservativo	34,46
	Impermeabilizante	0,99
	Amarração	0,68
	Plaqueta de identificação	0,30
Mão de obra direta	Salários	9,48
	Encargos sociais	4,64
Gastos gerais	Fretes/carretos	11,47
	Consertos/Rep. De Maq.	2,72
	Combustível	2,87
	Energia elétrica/água	0,50
	Quebras de madeiras	3,34
	Despesas diversas	3,59

Verifica-se pela Tabela 3.8, que para o ano de 1983 os itens mais significativos em média para a composição dos custos foram em ordem decrescente: o preservativo, a madeira, fretes/carretos e os salários.

Há muitos critérios para a escolha de investimentos, sendo as opções dependentes dos meios disponíveis para inicial o processo de produção e dos objetivos a serem alcançados, bem como das formas de aplicação de capital. Entre estes critérios⁷ de

⁵ Custo médio entre as empresas.

⁶ Pesquisa realizada entre os meses de maio e junho de 1983;

⁷ Outros critérios utilizados para avaliações econômicas são o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

avaliação econômica o mais indicado para comparações entre opções para a execução de uma mesma tarefa (como o caso de madeira tratada e não-tratada) é o Custo Anual, (REZENDE et al., 1993).

Para a avaliação por tal critério adota-se a Eq. (3.1)

$$R = \frac{A \cdot i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (3.1)$$

onde:

R: custo anual;

A: investimento inicial;

i: taxa de juros

n: vida útil em anos;

Realizando comparações entre dormentes de madeira tratada e não-tratadas, Rezende et al. (1993) faz as seguintes conclusões quanto a taxa de juros e a vida útil:

- **Taxa de juros:** para taxas mais elevadas, o uso de madeira tratada, que é um material de maior custo de aquisição, tende a se tornar uma opção menos interessante economicamente. Quando as taxas de desconto são altas, os projetos de longo prazo são menos atrativos, o mesmo acontecendo com projetos que geram produtos de melhor qualidade;⁸

Vida útil: embora não sendo possível prever com exatidão o verdadeiro período de serviço que se pode obter de uma instalação qualquer, construída com determinado tipo de madeira, quanto maior for a taxa de juros⁹, maior deve ser a vida útil mínima para que o custo anual da madeira preservada seja menor ou igual ao custo da madeira não-tratada, ou para que o tratamento químico seja econômico;

Ao comparar postes de madeira tratada com postes de concreto Rezende et al. (1993), obtém-se duas importantes conclusões:

- Quanto maior a taxa de juros vigente, menor deve ser a diferença entre o valor de aquisição do poste de concreto e o valor da madeira, para que os custos anuais sejam iguais;
- Por mais que se aumente a vida útil do poste de concreto, seu custo nunca será igual ou inferior ao custo anual do poste de madeira, para qualquer taxa de desconto;

⁸ Isto mostra porque em nosso país, os projetos de infra-estrutura não são tratados como deveriam.

⁹ No texto original foi utilizada o termo "taxa de desconto".

Concluindo seu estudo Rezende et al. (1993), relata que dentro de uma economia estável, a utilização de madeira tratada é a melhor opção econômica, pois proporciona menor custo anual.

3.8 Classes de riscos

Além dos fatores inerentes da madeira, a durabilidade depende também das condições de utilização, assim por exemplo, a madeira será mais susceptível a ser atacada em condições quentes e úmida do que em climas frios e secos. Além disso, a probabilidade de ataque será maior se a madeira se encontrar em contato direto com o solo, (PRID, 1988).

Atualmente a NBR 7190/97 em seu *Anexo D – Recomendações sobre a durabilidade das madeiras*¹⁰, o qual é considerado apenas como informativo, relata que o risco de deterioração depende do teor de umidade da madeira e da duração do período de umidificação, sendo as classes de umidade da madeira especificadas na Tabela 3.9, e a classe de duração dos períodos de umidificação pela Tabela 3.9.

TABELA 3.9 – Classes de umidade – (NBR 7190/1997)

Classe e umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} < 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} < 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

¹⁰ Páginas 88 e 89 da respectiva norma.

TABELA 3.10 – Classe de duração - (NBR 7190/1997)

Classe de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica.
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

- **Situação 1:** caracterizada pelas condições em que a madeira está inteiramente protegida das intempéries e não sujeita à reumidificação. Estão nessa situação as madeiras que pertencem às classes de umidade 1 a 3, especificadas pela Tabela 3.9;
- **Situação 2:** caracterizada pelas condições em que a madeira está inteiramente protegida das intempéries, mas sujeita à reumidificação ocasional. Estão nesta situação as madeiras as madeiras pertencentes às classes de umidade 1 a 3, e sujeitas à reumidificação de curta duração, Tabela 3.9;
- **Situação 3:** caracterizada pelas condições em que a madeira não está protegida das intempéries, ou esta protegida mas sujeita à reumidificação frequentemente. Estão nesta situação as madeiras pertencentes à classe de umidade 4, sujeitas à reumidificação de longa duração;
- **Situação 4:** caracterizada pelas condições em que a madeira está permanentemente em contato com o solo ou com água doce;
- **Situação 5:** caracterizada pelas condições em que a madeira está permanentemente em contato com água salgada;

Assim a Tabela 3.11, mostra em função das situações de risco os principais agentes agressivos.

TABELA 3.11 – Agentes biológicos em função das situações de risco de deterioração da madeira – (NBR 7190/1997)

Situação de risco	Agentes biológicos					
	Fungos apodrecedores		Fungos manchadores e emboloradores	Insetos		Furadores marinhos
	Basídio micetos	Podridão mole	Azulão	Besouros	Cupíns	
1	-	-	-	L	L	-
2	U	-	U	L	L	-
3	U	-	U	L	L	-
4	U	U	U	L	L	-
5	U	U	U	L	L	U

U: presente; L: pontos localizados

Com relação ao tratamento preservativo, a NBR 7190/1977 recomenda-se:

a) Métodos preservativos: pincelamento, aspersão, pulverização, imersão, banho quente-frio, substituição da seiva e auto-clave;

b) Tipos preservativos

- Preservativos de longa duração – creosoto, pentaclorofenol, CCA e CCB;
- Preservativos de ação temporária hidrossolúveis – fungicidas e inseticidas;

c) Preservação mínima recomendada - em virtude da grande variabilidade da incidência de agentes biológicos de deterioração da madeira, bem como pela existência de espécies com boa durabilidade natural, recomenda-se, na falta de outras informações, os seguintes procedimentos mínimos de preservação;

- **Dicotiledôneas:** pincelamento;
- **Coníferas:** impregnação em auto-clave.

As normas EN 335-1; EN 335-2 apud IPT (2001)¹¹ chamam as várias condições em que a madeira está exposta de *classes de riscos*, as quais possuem maior ou menor probabilidade da madeira ser atacada por um ou mais grupos de organismos deterioradores, conforme as condições de sua utilização, Tabela 3.12.

¹¹ EUROPEAN NORM 1992 – EN 335-1: Hazard classes of wood and wood-based products against biological attack. Part 1: classification of hazard classes *apud* IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Biodeterioração de madeiras em edificações. São Paulo, 2001.

EUROPEN NORM 1992 – EN 335-2: Hazard classes of wood and wood based products against biological attack. Part 2: guide of the application of hazard classes to solid wood.

TABELA 3.12 – Classe de risco – Grupos de organismos xilófagos que podem atacar a madeira, conforme o local e as condições em que ela é empregada – (EN 335-1; EN 335-2 apud IPT, 2001)

Classe	Local e condições de uso	Exposição à umidade	Agentes biológicos			
			Fungos	Brocas	Cupins	Brocas marinhos
1	Acima do solo (coberto e seco)	Nenhuma	Não	Sim	Sim	Não
2	Acima do solo (coberto com riscos de umidade)	Ocasional	Sim	Sim	Sim	Não
3	Acima do solo (não coberto)	Frequente	Sim	Sim	Sim	Não
4	Em contato com solo ou água doce	Permanente	Sim	Sim	Sim	Não
5	Em contato com água salgada	Permanente	Sim	Sim	Sim	Sim

Com a identificação da classe de risco, pode-se verificar a combinação entre preservante e processo de impregnação necessária para proteção da madeira, com o respectivo comportamento do preservante, Tabela 3.13.

TABELA 3.13 – Tipos de tratamentos e de preservantes em função da classe de risco na qual se encontrará a madeira – (IPT, 2001)

Classe de risco	Preservação a aplicar		
	Processo de tratamento preconizado	Natureza do preservante	Comportamento do preservante
1	Aspersão, imersão, pincelamento ou com pressão	Inseticida	Resistente a perda por evaporação
2	Aspersão, imersão, pincelamento ou com pressão	Inseticida e fungicida	Não ou pouco lixiviável e resistente a perdas por evaporação
3	Com pressão	Inseticida e fungicida	Não lixiviável e resistente a perdas por evaporação
4	Com pressão	Inseticida e fungicida	Não lixiviável e resistente a perdas por evaporação
5	Com pressão	Inseticida e fungicida, molucida, carcinocida	Não lixiviável e resistente a perdas por evaporação

Assim IPT (2001) baseado nas normas EN 335-1; EN 335-2, apresenta um fluxograma sobre os principais passos a serem seguidos na escolha da madeira, pressupondo-se uma definição inicial da classe de risco a que vai ser submetida a peça de madeira quando for utilizada, Figura 3.7.

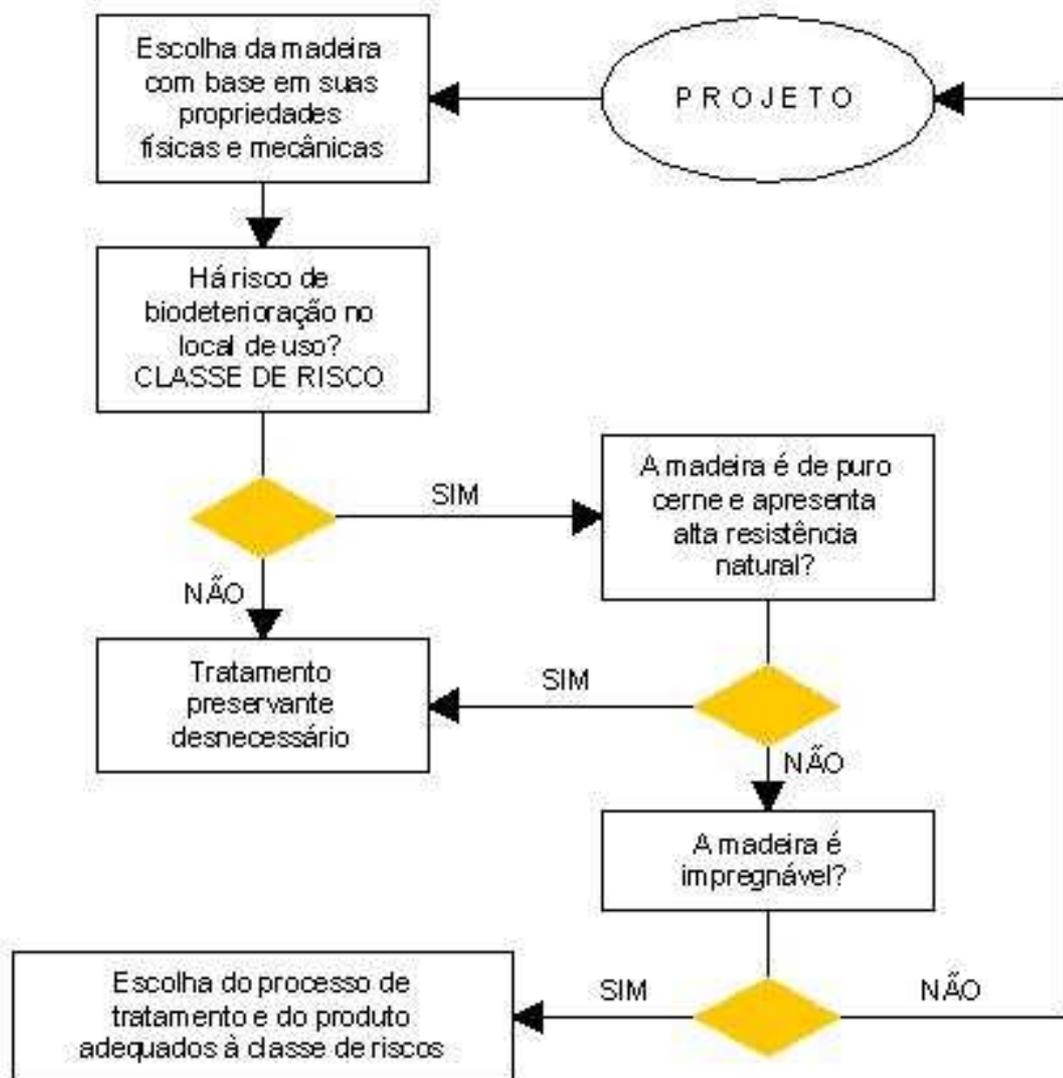


FIGURA 3.7 – Fluxograma que mostra as principais decisões a serem tomadas quando da utilização de madeiras em edificações – (IPT, 2001)

Campos; Oliveira; Sales (2002) propõem uma classificação de risco para a biodeterioração da madeira, diferindo da atual classificação adotada pela NBR 7190/1997, devido esta nova proposta possuir uma classe a mais, em virtude da uma classe de risco única para as estruturas imersas em água doce, onde na respectiva norma, o contato com a água doce está preconizado junto com o contato direto no solo. Segundo Campos; Oliveira; Sales (2002):

- **Classe de risco 1:** estruturas de madeira isolada do solo, sob abrigo e protegida contra a reumidificação;
- **Classe de risco 2:** estrutura de madeira isolada do solo, sob abrigo e em contato permanente com fonte de umidade;
- **Classe de risco 3:** estrutura de madeira isolada do solo mas exposta às intempéries;

- **Classe de risco 4:** estrutura de madeira em contato direto com o solo e/ou sob intempéries;
- **Classe de risco 5:** estruturas de madeira imersa em água doce;
- **Classe de risco 6:** estruturas de madeira imersa em água salgada ou salobra;

Esta classificação proposta por Campos; Oliveira; Sales (2002) difere das indicadas pelas normas EN 335-1; EN 335-2 e NBR 7190/97 apenas para a madeira imersa em água doce, classe de risco 5, o que estas outras não possuem.

Considerando que no momento a NBR 7190/1997 está em processo de revisão, é pertinente que acima de tudo estas “situações” ou “classes” de riscos, deixem de ser meramente recomendações, através do ANEXO D (informativo), e se tornem efetivas obrigações ao se projetar as estruturas de madeira, e em anexo a norma recomende as espécies mais adequadas para cada “situação” ou “classe” de risco, bem como os sistemas e produtos preservativos mais recomendados a cada espécie e situação.

A norma australiana *AS 1604.1-2005 Specifications for preservative - Part 1: Sawn and round timber* define seis classes de risco, Tabela 3.14, em função do tipo de exposição em que as peças de madeira estarão sujeitas.

TABELA 3.14 – Guia de seleção de classe de risco – (AS 1604.1-2005)

Classe de risco	Exposição	Condições Específicas de risco	Risco Biológico	Usos típicos
H1	Interna acima do solo	Completamente protegido de tempo e bem ventilado, e protegido de térmitas	Lictídeos Brocas	Estrutura, pavimento, mobília, ligações internas
H2	Interna acima do solo	Protegido de umidade. Sem lixiviação	Brocas e térmitas	Estruturas, pavimento, e uso similar, usado em situações secas
H3	Externa acima do solo	Sujeito a periódicos umedecimentos moderado e lixiviação	Apodrecimento moderado, brocas e térmitas	Tábuas de revestimento externo, outdoors, pérgolas (acima do solo) uniões de janelas, estruturas e decking
H4	Externa em contato com o solo	Sujeito a severo umedecimento e lixiviação	Apodrecimento severo, brocas e térmitas	Mourões, muros de jardins menores que 1m, estufas, pérgolas (no solo) e peças de jardins
H5	Externa em contato com o solo ou água fresca	Sujeito à extrema umidade e lixiviação e/ou onde o uso crítico requer um maior grau de proteção	Apodrecimento muito severo, brocas e térmitas	Paredes de contenção, estaqueamento, casas de tronco, postes de edifícios, torres de esfriamento de abastecimento
H6	Água marinha	Sujeito a prolongada imersão em água marinha	Brocas de água marinha e apodrecimento	Cascos de barcos, estacas marítimas, ancoradouros, e similar

Além desta classificação de risco, outras duas normas *AS 5604-2005 Timber-Natural durability ratings* e a *AS 1720.2-1990 Timber Structures - Part 2: Timber properties*, fazem importantes definições utilizadas no projeto de estruturas de madeira.

A *AS 5604-2005* define inicialmente que a durabilidade natural, é a resistência inerente de uma espécie de madeira ao apodrecimento, ou à insetos ou ao ataque de brocas marinhas. Considerando o ataque do alburno por Lictídeos, as espécies são classificadas qualitativamente como Susceptível e Não-Susceptível, “S” e “NS” respectivamente. Quanto ao ataque do cerne por térmitas as espécies são novamente classificadas qualitativamente como “Resistentes à térmitas” e “Não Resistente à térmitas”, R e NR respectivamente.

Para o apodrecimento e ataque de brocas marinhas, a *AS 5604-2005* faz classificações quantitativas, conforme as Tabelas 3.15 e 3.16.

TABELA 3.15 – Durabilidade natural – Expectativa de vida provável – (AS 5604-2005)

Classe	Expectativa de vida provável em contato como o solo (anos)	Expectativa de vida provável acima do solo (anos)
1	Maior que 25	Maior que 40
2	15 a 25	15 a 40
3	5 a 15	7 a 15
4	0 a 5	0 a 7

TABELA 3.16 – Resistência a brocas marinhas – Provável expectativa de vida – (AS 5604-2005)

Classe	Resistência a brocas marinha Expectativa de vida em águas do Sul* (anos)
1	Maior que 60
2	41 a 60
3	21 a 40
4	0 a 20, geralmente menor que 5 anos

(*) Geralmente o ataque de brocas marinhas é mais severo nas águas do norte Australiano do que nas do Sul.

A Tabela 3.17 mostra os índices de durabilidade de algumas espécies contempladas pela AS 5604-2005 e indicadas para o uso nacional, pelas normas *NBR 7190/1997 Projeto de estruturas de madeira*, e *NBR 8456/1984 Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia*.

TABELA 3.17 – Índices de durabilidade natural de *Eucalyptus* – (AS 5604-2005)

Nome vulgar Nome científico	Susceptibilidade do alburno a Lictídeos	Resistência de térmitas pelo cerne ³	Classe de durabilidade natural do cerne		Resistência do cerne à brocas marinhas
			Em contato com o solo	Externo, acima do solo	
gum, blue, Sydney <i>Eucalyptus saligna</i> (1)	S	NR	3	2	3
gum, grey <i>Eucalyptus propinqua</i> (1) <i>Eucalyptus punctata</i> (1)	NS	R	1	1	2
gum, Maiden's <i>Eucalyptus maidenii</i> (1)	S	NR	2	2	4
Gum poplar <i>Eucalyptus alba</i> (1) (2)	-	NR	3	3	4
gum, red, Forest <i>Eucalyptus tereticornis</i> (1) (2)	NS	R	1	1	2
gum, red, river <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (1)	S	R	2	-	-
gum, rose <i>Eucalyptus grandis</i> (1)	NS	NR	3	2	4
gum, spotted <i>Corymbia maculata</i> ¹² (1) <i>Corymbia citriodora</i> (1) (2)	S	R	2	1	4
gum, white, Dunn's <i>Eucalyptus dunnii</i> (1)	S	-	4	-	4
ironbark, grey <i>Eucalyptus paniculata</i> (1) (2)	NS	R	1	1	3
mahogany, sothern <i>Eucalyptus botryoides</i> (2)	NS	R	1	1	2
mahogany, White <i>Eucalyptus umbra</i> subesp. <i>Carnea</i> (1)	NS	R	1	1	2
messmat, gympie <i>Eucalyptus cloeziana</i> (1)	NS	R	1	1	-
tallow wood <i>Eucalyptus microcorys</i> (1)	S	R	1	1	3

(1) Espécie indicada para utilização pela NBR 7190/1997;

(2) Espécie indicada para utilização pela NBR 8456/1984;

(3) Interna acima do solo, aplicável à classe H2 da AS 1604.

A norma AS 1702.2-1990, define “Classe de Durabilidade”, assumindo estas classes para um cerne não tratado (com no mínimo de 40 mm de espessura) em contato com o solo conforme a Tabela 3.18.

¹² Espécie anteriormente designadas como *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora*, respectivamente.

TABELA 3.18 – Classes de Durabilidade – (AS 1720.2-1990)

Durabilidade	Definição
Classe 1	Peças de maiores durabilidades naturais as quais pode ser esperado resistir ao apodrecimento e ataque de térmitas por no mínimo 25 anos e até 50 anos;
Classe 2	Peças de alta durabilidade natural as quais pode ser esperado ter uma vida de entre 15 a 25 anos;
Classe 3	Peças de somente durabilidade moderada as quais pode ser esperada uma vida de 8 a 15 anos; Peças de baixa durabilidade natural as quais possam durar aproximadamente entre 1 a 8 anos.
Classe 4	Estas peças têm aproximadamente a mesma durabilidade de alburnos não tratados, as quais são geralmente consideradas Classe 4, independente da espécie.

Ao realizar uma proposta de classes de risco para a revisão na NBR 7190/1997, Brazolin et al. (2004) comenta que o propósito do SISTEMA DE CLASSES DE RISCO é dar uma ferramenta simplificada para a tomada de decisões quanto ao uso racional e inteligente da madeira na construção civil, fornecendo uma abordagem sistêmica ao produtor e usuário que garanta maior durabilidade das construções.

Esta proposta feita por Brazolin et al. (2004) considera seis classes de risco conforme Tabela 3.19.

TABELA 3.19 – Classes de risco para uso da madeira na construção civil – (BRAZOLIN et al. 2004)

Classes de risco (CR)	Condição de uso	Organismo xilófago
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade. Locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos a intempéries.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfuradores marinhos Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores

Em todas estas referências citadas, a agressividade à madeira é tratada como um fator dependente apenas das condições de umidade do local, deixando-se de lado a contribuição à degradação da madeira pela temperatura, assim desprezando a atividade biológica em função desta variável termodinâmica.

3.8.1 As classes de risco no desenvolvimento de projetos

Para exemplificar a utilização do sistema de classes de risco no desenvolvimento de projetos de estruturas, nacionalmente, cita-se o caso das estruturas de concreto.

A norma de projetos de estruturas de concreto¹³, NBR 6118/2003, impõe a utilização das classes de riscos, dividindo a agressividade ambiental em 4 classes, conforme a Tabela 3.20.

TABELA 3.20 – Classes de agressividade ambiental – (NBR 6118/2003)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Após definida a classe de agressividade, determina-se o valor máximo da relação água/cimento, e o valor do f_{ck} ¹⁴ mínimo a ser utilizado, Tabela 3.21.

TABELA 3.21 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – (NBR 6118/2003)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto ¹⁵ NBR 8953	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

CA – Elementos estruturais de concreto armado
CP – Elementos estruturais de concreto protendido

¹³ Estruturas de concreto armado e protendido.

¹⁴ Resistência característica do concreto à compressão.

¹⁵ Classe de resistência do concreto C20 corresponde a uma resistência característica à compressão de 20 MPa, e assim sucessivamente.

Através da classe de agressividade define-se ainda o cobrimento de concreto que a armadura do concreto armado ou protendido deverá possuir. Tabela 3.22.

TABELA 3.22 – Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento – (NBR 6118/2003)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido	Todos	30	35	45	55

Além disso, a NBR 12655/2006 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento, impõe o consumo mínimo de cimento por metro cúbico de concreto, em função da agressividade ambiental definida pela NBR 6118/2003, Tabela 3.23.

TABELA 3.23 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – (NBR 12655/2006)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto NBR 8953	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (kg/m^3)	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

CA – Elementos estruturais de concreto armado

CP – Elementos estruturais de concreto protendido

Pode-se perceber que todos os critérios que envolvem a durabilidade das estruturas de concreto, estão vinculados com a definição inicial da classe de agressividade ambiental na qual a estrutura a ser projetada estará exposta. A definição da classe de agressividade é o primeiro critério definido ao se iniciar um projeto de estrutura de concreto.

O engenheiro que desenvolve projetos de estrutura de concreto, utiliza a norma de projeto, com um guia para a durabilidade da estrutura a ser executada e utilizada. Entretanto deve-se lembrar que NÃO É UMA RECOMENDAÇÃO, É UMA IMPOSIÇÃO, a utilização das classes de agressividade.

Entende-se que a revisão da norma de projetos de estruturas de madeira, deve incorporar o sistema de classes de risco, não como uma recomendação e sim como uma imposição, no qual todo o desenvolvimento do projeto esteja atrelado à este sistema

4 OS POSTES DE MADEIRA

Segundo o modelo proposto por Brazolin et al. (2004) para a revisão da NBR 7190/1997, os postes de energia e telefonia são enquadrados na classe de risco 5, conforme Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Madeira roliça

Aplicação	Classe de risco
Cerca	4 e 5
Coluna	2, 3, 4 e 5
Cruzeta	4
Defensa	5 e 6
Dormente	5
Estrutura de telhado (*)	2, 3 e 4
Fundação	5 e 6
Guarda-roda; guarda-trilho	4 e 5
Moirões/Lasca	5
Móveis	1, 2, 3, 4 e 5
Playground	4 e 5
Ponte/passarela (**)	4, 5 e 6
Poste (energia e telefonia)	5
Tabuleiro	4

(*) cumeeira, frechal, ripa, terça, tesoura, tirante, travamento e/ou caibro;

(**) tabuleiro, fundação, peças estruturais, guarda-corpo e/ou corrimão;

Os postes de madeira recebem tratamento preservativo com a finalidade de prolongar sua vida útil, porém ao longo do tempo essa proteção perde a sua eficiência tornando-os suscetíveis à ação dos agentes externos, principalmente na região de contato do poste com o solo, denominada “afloramento”, Figura 4.1, a qual é mais crítica devido às condições favoráveis de desenvolvimento destes tipos de organismos, (SALES et al., 2002).



FIGURA 4.1 – Região de afloramento do poste

Oliveira et al. (1986) identifica quatro zonas diferentes de micro-climas em um poste instado, sendo:

- a) No topo do poste, uma área de umedecimento e secagem intermitentes – eventualmente pode ocorrer apodrecimento;
- b) Acima do nível do solo, condições permanentes de baixa umidade – a deterioração raramente ultrapassará a mudança superficial na coloração da madeira devido à fotodeterioração;
- c) Na região do afloramento, condições permanentes de alto nível de umidade – umidade e oxigenação favorável, ocorrendo o processo de deterioração mais rapidamente;
- d) Uma região como excesso de umidade na base do poste¹ - umidade favorável, porém nesta região o oxigênio passa a ser o fator limitante, diminuindo drasticamente a atividade dos fungos, até que, em regiões de maior anaerobiose, apenas bactérias colonizam a madeira, raramente ocorrendo apodrecimento significativo;

Oliveira et al. (1986) continua relatando que cada uma destas áreas apresentará características de colonização e deterioração bastante distintas. Eventualmente poderá ocorrer apodrecimento na região “a”, enquanto na região “b” a deterioração raramente ultrapassará a mudança superficial de coloração, devido a fotodeterioração. Nestas áreas apesar de existirem condições de oxigenação suficientes para o desenvolvimento de fungos, a baixa umidade evita que este desenvolvimento ocorra. Nas regiões “c” e “d” a umidade é favorável, mas o oxigênio passa a ser o fator limitante. Na região de afloramento, as condições de umidade e oxigenação são favoráveis, e é aí que o processo de deterioração ocorre mais rapidamente. Nas regiões inferiores, o oxigênio passa a ser o fator limitante, e

¹ Na referencia citada é considerado que o poste atinge o lençol freático.

atividade dos fungos diminui drasticamente, até que em regiões de maior anaerobiose, apenas bactérias colonizam a madeira, raramente ocorrendo apodrecimento significativo.

Entretanto deve-se lembrar que o topo do poste é uma região não qual apesar de estar cortada em chanfro, devido à anatomia da madeira, esta posição possui grande facilidade de absorção de água.

Além disso, tanto o topo do poste bem como as cruzetas fixadas próximas ao topo, as aves utilizam como “poleiro”, e até mesmo construindo ninhos. A presença de aves no topo bem como nas cruzetas aumentam a proliferação de fungos, devido a deposição de excrementos. A Figura 4.2 mostra várias cruzetas que foram substituídas devido à deterioração pela ação de fungos.



FIGURA 4.2 – Cruzetas deterioradas por fungos

À região do topo dos postes e às cruzetas devem ser consideradas como críticas, pois é sobre estas que são fixados conectores e equipamentos.

Segundo Wolfe (1999) a falha precoce ou prematura de postes podem ser geralmente atribuídas a um ou mais de três fatores:

- Pobre penetração e distribuição do preservativo;
- Inadequada retenção do preservativo;
- Uso de substâncias preservantes de baixa qualidade.

José Carlos et al. (1990) citam duas importantes características do gênero *Eucalyptus*, podendo afetar sua vida útil:

- **Fendilhamento:** a espécie que possui maior tendência a fendilhar que outras, agravando-se com velocidade de secagem;

- **Pequeno volume de alburno:** um maior volume de alburno imunizado envolvendo e protegendo o cerne leva a madeira tratada a apresentar uma vida útil mais longa, pois em regiões infestadas e cupins xilófagos, estes penetram pelas fendas desenvolvidas após o tratamento destruindo o cerne.

A Figura 4.3 mostra a superfície de um poste de eucalipto recém-tratado, o qual ainda está em estoque. Pode-se perceber a grande quantidade de fendas existente.



FIGURA 4.3 – Fendas na superfície postes de eucalipto

Utilizando o sistema proposto² Castro Silva (2003) classifica algumas madeiras das espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* em função da resistência natural a cupins e a tratabilidade em função de suas respectivas permeabilidades aos preservativos, Tabela 4.2.

² Tabelas 3.1 e 3.3, respectivamente.

TABELA 4.2 – Resistência natural ao ataque de cupins e permeabilidade das madeiras – (CASTRO SILVA, 2003)

Espécie de madeira	Resistência natural a cupins	Permeabilidade
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3	3
<i>Eucalyptus citriodora</i>	2	3
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	1	3
<i>Eucalyptus grandis</i>	3	3
<i>Eucalyptus maculata</i>	2	3
<i>Eucalyptus maidenii</i>	3	3
<i>Eucalyptus microcorys</i>	3	3
<i>Eucalyptus paniculata</i>	2	3
<i>Eucalyptus propinqua</i>	3	3
<i>Eucalyptus saligna</i>	3	3
<i>Eucalyptus punctata</i>	3	3
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	4	3
<i>Eucalyptus triantha</i>	3	3
<i>Eucalyptus umbra</i>	3	3
<i>Eucalyptus urophylla</i>	3	3
<i>Pinus caribaea</i>	4	1
<i>Pinus bahamensis</i>	4	1
<i>Pinus hondurensis</i>	4	1
<i>Pinus elliottii</i>	4	1
<i>Pinus oocarpa</i>	3	1
<i>Pinus taeda</i>	4	1

Sales et al. (2003) por meio de inspeções realizadas em estaleiros de postes tratados, identificou situações nas quais apesar do tratamento preservativo ter sido executado a contento, algumas peças necessitariam serem rejeitadas em função de valores medidos para os parâmetros estabelecidos. Dentre os defeitos de maior ocorrência identificados, destacavam-se a profundidade e magnitude de fendas com dimensões superiores aos limites estabelecidos pelo NBR 8456, sendo que estas podem expôr o interior dos postes aos agentes agressivos, de modo que o efeito do preservativo no alburno, pouco contribuirá para a garantia da vida útil do poste em padrões aceitáveis.

Outros problemas segundo Alawady; Avent; Mukai (1998), devido os postes receber tratamento preservativo sob pressão, o interior da peça recebe menor quantidade de preservante, podendo desenvolver regiões ocas em função do apodrecimento, assim tal situação acarreta a diminuição da resistência à compressão e à flexão significativamente. E

ao fato da menor concentração do produto preservante no interior da peça, soma-se também a ocorrência da lixiviação deste produto com o passar do tempo.

Sales et al. (2004) estudando a durabilidade de postes de eucalipto tratado, através de Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS), avaliam os valores de retenção de Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), às profundidades de 1, 2 e 3 cm, comparando os valores entre um poste retirado de serviço (PL1) o qual apresenta sinais de apodrecimento e um poste novo (PL2) de mesma espécie, ambos na região de afloramento, Tabela 4.3. Os resultados confirmam que além da menor concentração do preservante no interior da peça, este produto é lixiviado com o decorrer do tempo. Assim por este estudo, Sales et al. (2004) validaram as hipóteses de menor concentração e da lixiviação do produto preservativo, propostas por (ALAWADY; AVENT; MUKAI, 1998).

TABELA 4.3 - Valores de concentração de CCA - (SALES et al., 2004)

Amostra	CCA - (i.a.)* - (kg/m³)
PL1 - 1 cm	5,06
PL1 - 2 cm	2,55
PL1 - 3 cm	0,07
PL2 - 1 cm	8,40
PL2 - 2 cm	5,35
PL2 - 3 cm	1,96

(i.a.) - Ingrediente ativo

Considerando quatro características das espécies de eucalipto: pequeno volume de alburno, tendência ao fendilhamento, cerne moderadamente durável e baixa permeabilidade para a realização de tratamento preservativo, Figura 4.4, e, além disso, somando-se também a lixiviação do produto preservativo ao longo do tempo, obtém-se uma grande possibilidade da ocorrência de problemas em poste em serviço desta espécie.

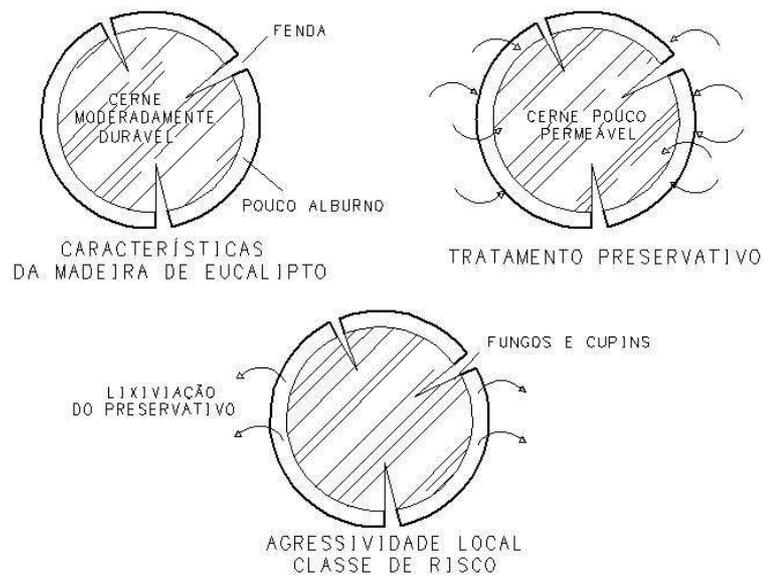


FIGURA 4.4 – Utilização da madeira de eucalipto como postes

Segundo Bueno (2001), as principais causas de substituições de postes de madeira são:

- Ataque por fungos apodrecedores na zona de afloramento do poste, região mais crítica, devido às condições favoráveis de desenvolvimento desse tipo de organismo;
- Ataque por cupins, com maior incidência de cupins subterrâneos. Esse tipo de ataque ocorre, com maior frequência, em regiões quentes, de solos arenosos, com predominância de vegetação.

A empresa LIGHT ao desenvolver o programa de manutenção em postes de madeira no Estado do Rio de Janeiro, constatou que 90% da deterioração de seus postes são causadas por fungos apodrecedores, e 10% devido ao ataque de cupins, Light (1994).

Segundo Bottazzo et al. (1988) no período entre 1984 à 1987, na regional da CESP – Companhia Energética de São Paulo da cidade de Andradina, foram retirados 2748 postes, apurando-se a distribuição das causas conforme a Figura 4.5.



FIGURA 4.5 – Distribuição relativa das causas de retirada de postes – (BOTTAZZO et al., 1988)

Por este levantamento, verificou-se que mais da metade das causas de substituição dos postes de madeira, é em função de apodrecimento que é dado através da atividade fungica.

Considerando as ações preventivas contra estes agentes, Botazzo et al. (1988) recomenda:

a) Contra cupins

- Construção de barreiras químicas no solo ao redor do poste com os produtos organoclorados, e com organosforforados de baixa toxidez;

b) Contra fungos

- Proteger a região do afloramento com pasta tixotrópica recoberta com bandagem;
- Procurar projetar os postes do lado mais alto da rua;
- Aplicação de manutenção preventiva em intervalos de menor periodicidade;

Os cupins vivendo em contato com o solo constroem galerias e penetram no poste através de fendas ou rachas, ou até mesmo pelo limite inferior da base engastada, sendo que muitas vezes com o ataque em estágio avançado não é evidente externamente. Um poste atacado por cupins pode apresentar ocós internos em maior ou menor grau, que devem ser cuidadosamente avaliados para se detectar o nível de comprometimento do mesmo. Sendo assim necessário além do retratamento externo, um tratamento interno e do solo, (LIGHT, 1994).

Sales et al. (2003) relata que a durabilidade dos postes preservados não está somente relacionada ao processo de preservação na usina, mas deve prioritariamente atender a alguns parâmetros relacionados com cada uma das fases de produção do poste novo:

- Proposição de ações e procedimentos antes do tratamento (avaliação da qualidade da matéria-prima retirada da floresta).
- Espécie e propriedades;

- Idade de abate e efetivo cumprimento do período de sazonalidade, sendo que o teor de umidade antes do tratamento não poderá ultrapassar 25% ou 30%, para preservação com produtos oleossolúveis ou hidrossolúveis, respectivamente;
- Dimensões e classificação do poste em função da aplicação requerida, NBR 8457;
- Existência de fendas, rachas e nós na base, corpo e topo do poste, com dimensões superiores aos limites recomendados pela NBR 8456;
- Utilização de dispositivos para minimizar o aparecimento de fendas nos topos e bases do poste.
- Proposição de ações e procedimentos depois do tratamento (avaliação da qualidade do processo de preservação na usina de tratamento).
- Níveis de retenção do produto preservativo;
- Penetração do produto preservativo;
- Resistência nominal e classificação conforme os valores obtidos em ensaios de flexão representativos dos lotes, NBR 6231³;
- Condições gerais de preservação.
- Proposição de ações e procedimentos para armazenamento dos postes tratados (verificação da qualidade do poste armazenado).
- Cuidado no manuseio: carga e descarga;
- Separação por tipo e comprimento;
- Placa de identificação com dados que permita a rastreabilidade do lote recebido, nas inspeções e manutenção de rede.

4.1 A vida útil dos postes de madeira

Conforme Wolfe (1999) a vida útil dos postes pode variar dentro de um largo intervalo, dependendo de suas propriedades, tratamentos preservativos, condições de serviço e práticas de manutenção, e em muitas vezes a transmissão e distribuição de energia é limitada pela obsolescência da linha, em vez da vida física do poste.

A falha de um poste é considerada pela NBR 8456/1984 como o ataque de fungos (apodrecimento) ou térmitas no alburno ou cerne exigindo-se sua troca, impondo que a vida útil do poste de eucalipto deve ser de quinze anos, no mínimo, contados a partir da data de preservação, contra qualquer falha das unidades do lote de postes fornecidos, sendo que:

³ NBR 6231/1980 – Postes de madeira – Resistência à flexão.

- a) Admite-se, no decorrer dos primeiros cinco anos uma falha total de 1% dos postes;
- b) Do 6º ao 10º ano, admite-se 1% de falhas para cada período de 1 (um) ano, acumulando-se, no máximo, 6% das falhas permitidas no fim do 10º ano;
- c) Do 11º ao 15º ano, admite-se 2 % de falhas para cada período de 1 ano, acumulando-se, no máximo, 16% de falhas permitidas no fim do período de 15 anos.

A NBR 8456/1984 além de não indicar e não orientar a realização de manutenção periódica dos postes de madeira desconsidera a variabilidade climática do território nacional, isto é, não leva em conta as diferenças de umidade, precipitação e temperatura existentes em nosso país de dimensões continentais e com grandes diferenças climáticas. Assim esta norma considera que independentemente da região onde estejam instalados os postes de eucalipto terão um único valor para o período de vida útil.

A norma australiana e neozelandesa AS/NZS 4676:2000, é um exemplo de norma que adota critérios climáticos para a durabilidade e vida útil dos postes, Figura 4.6.

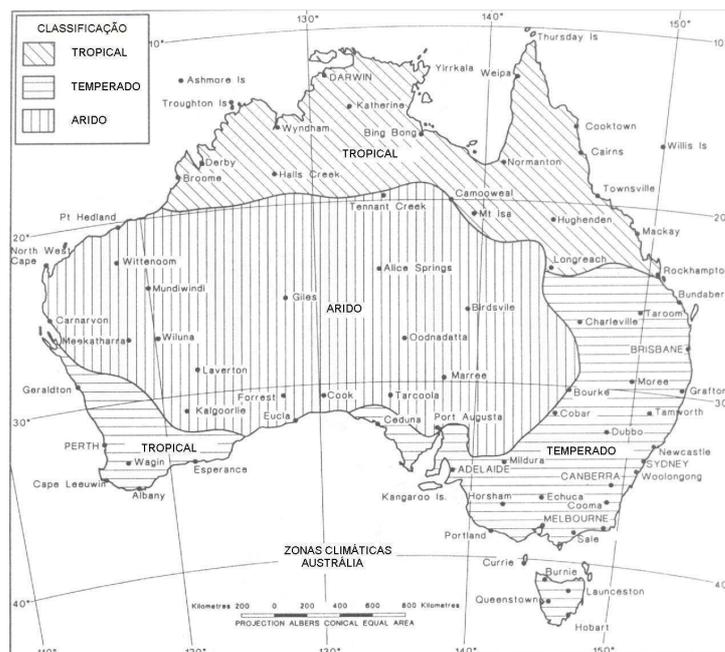


FIGURA 4.6 – Regiões climáticas da Austrália – (AS/NZS 4676:2000)

Em função desta variabilidade climática, o território australiano é dividido em zonas às quais correspondem as várias expectativas de vida útil, em função do tratamento preservante por este recebido, Figura 4.7. Sendo a Nova Zelândia um país de pequena extensão territorial, a AS/NZS 4676:2000, adota como este sendo um país de clima temperado em todo seu território.



FIGURA 4.7 – Regiões de vida útil nominal para postes de madeira – (AS/NZS 4676:2000)

A Tabela 4.4 mostra os valores nominais de vida útil para as classes de tratamento e regiões para o território australiano.

TABELA 4.4 – Classificação sugerida da vida útil nominal dos postes de madeira (AS/NZS 4676:2000)

Região (ver Figura 4.4)	Vida útil esperada (anos)					
	Classe de risco H5				Peça não tratada sem alburno	
	Peça tratada conforme AS 1604.1:2005					
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 1	Classe 2
1	45-55	35-45	25-35	40-50	25-35	15-25
2	50+	50+	30-40	50+	30-40	25-35
3	50+	50+	40-50	50+	50+	30-40

4.2 Dimensionamento

A CPFL em sua Norma Técnica 3648 *Projeto de Rede de Distribuição – Cálculo Mecânico*, impõe o dimensionamento mecânico dos postes de madeira apenas considerando os esforços solicitantes, e a tensão admissível da madeira à flexão, sendo

esta de 28,3 MPa, a qual é originária da relação entre a tensão de ruptura à flexão (σ_f) de 85 MPa, e o coeficiente de segurança mínimo (K) de 3,0, adotados pela NBR 8456/1984⁴.

A AS/NZS 4676:2000 *Structural design requirements for utility services poles*, para o projeto de linhas de transmissão impõe as condições expressas pelas Eq. 4.1 a 4.7:

Resistência à flexão

$$\Phi M \geq M^* \quad (4.1)$$

$$\Phi M = \Phi k_1 \cdot k_{20} \cdot k_{21} \cdot k_{22} \cdot k_d [f'_b \cdot Z] \quad (4.2)$$

Resistência ao cisalhamento

$$\Phi V \geq V^* \quad (4.3)$$

$$\Phi V = \Phi k_1 \cdot k_{20} \cdot k_{22} \cdot k_d [f'_s \cdot A_s] \quad (4.4)$$

Resistência à compressão

$$\Phi N_c \geq N^* \quad (4.5)$$

$$\Phi N_c = \Phi k_1 \cdot k_{12} \cdot k_{20} \cdot k_{21} \cdot k_{22} \cdot k_d [f'_c \cdot A_c] \quad (4.6)$$

$$\left(\frac{M^*}{\Phi M} \right) + \left(\frac{N_c^*}{\Phi N_c} \right) \leq 1 \quad (4.7)$$

Sendo

ΦM : Momento resistente;

M^* : Momento atuante de calculo;

ΦV : Cisalhamento resistente;

V^* : Cisalhamento atuante de calculo;

ΦN : Esforço resistente à compressão;

N_c^* : Esforço atuante de calculo;

k_1 : fator de duração da carga;

k_{12} : fator de estabilidade para compressão;

k_{20} : fator de imaturidade;

k_{22} : fator de processamento;

k_d : fator de degradação;

⁴ Tanto a Norma Técnica CPFL, bem como a NBR 8456/1984, os valores de tensão são expressos em daN/cm².

f'_c : resistência característica à compressão paralela;

f'_b : resistência característica à flexão;

f'_s : resistência característica ao cisalhamento

A_c : área da seção transversal crítica;

A_s : área de cisalhamento plano da seção crítica;

Z : módulo resistente da seção crítica;

O fator de degradação “ k_d ” é utilizado prevendo uma perda de capacidade resistente do poste em função do processo de degradação que ocorre ao longo dos anos em serviço. A Tabela 4.5, mostra os valores de “ k_d ” que variam em função da espécie de madeira, existência de tratamento preservativo, vida útil de projeto e diâmetro do poste. Ao adotar um determinado valor de k_d , assume-se que a perda da capacidade resistente é de “ $1 - k_d$ ”.

TABELA 4.5 – Fator de degradação – (AS/NZS 4676:2000)

Tipo de poste (*)	Vida de projeto (anos)	Diâmetro do poste		
		$d < 250$ mm	$250 \leq d \leq 400$	$d > 400$ mm
		k_d	k_d	k_d
Softwood preservado em todo o comprimento	20	1,00	1,00	1,00
	50	0,80	0,85	0,90
Hardwood preservado em todo o comprimento	20	1,00	1,00	1,00
	50	0,80	0,85	0,90
Hardwood não-tratada, Classe de Durabilidade 1	20	0,80	0,90	1,0
	50	0,50	0,55	0,60
Hardwood não-tratada, Classe de Durabilidade 2	20	0,70	0,80	0,90
	50	0,30	0,40	0,45

(*) – De acordo com a AS 2209

Verifica-se que para os dois casos de postes tratados para uma vida útil de projeto de 20 anos, e até mesmo para poste não-tratado com diâmetro maior que 400 mm, durabilidade de 20 anos e Classe 1, não é considerado como existente a perda de capacidade resistente. ($k_d=1,0$). Porém, exceto para as situações já comentadas, o valor de k_d diminui com a diminuição do diâmetro e como aumento da vida útil.

Este método contraria a NBR 8456/1984, que considera como fim da vida útil de um poste tratado, quando neste se instala um processo de degradação. Além de não considerar como existente um processo de degradação significativo antes de 20 anos de vida útil, este também considera que mesmo depois de instalado tal processo, o poste ainda possui capacidade resistente.

A principal diferença entre as normas australiana e brasileira, é o entendimento de vida útil. Para a norma brasileira, a vida útil de um poste termina quando ocorre a instalação de um processo de degradação. Já na norma australiana, a vida útil de um poste termina quando se perde a capacidade resistente considerada em projeto.

4.3 Ensaio de caracterização mecânica

A NBR 8456/1984 impõe duas condições aos postes de madeira, quanto ao ensaio de resistência à flexão:

- **Carga de ruptura:** a carga de ruptura não deve ser inferior a três vezes a resistência nominal do poste;
- **Elasticidade:** os postes submetidos a uma tração igual à resistência nominal não devem apresentar flechas, no plano de aplicação dos esforços, superior a 5% do comprimento nominal do poste.

A caracterização mecânica dos postes de eucalipto nacionalmente é realizada através do método da viga engastada em balanço, normatizado pela *NBR 6231/1980 – Postes de Madeira – Resistência à flexão – Método de Ensaio*, conforme Figura 4.8.

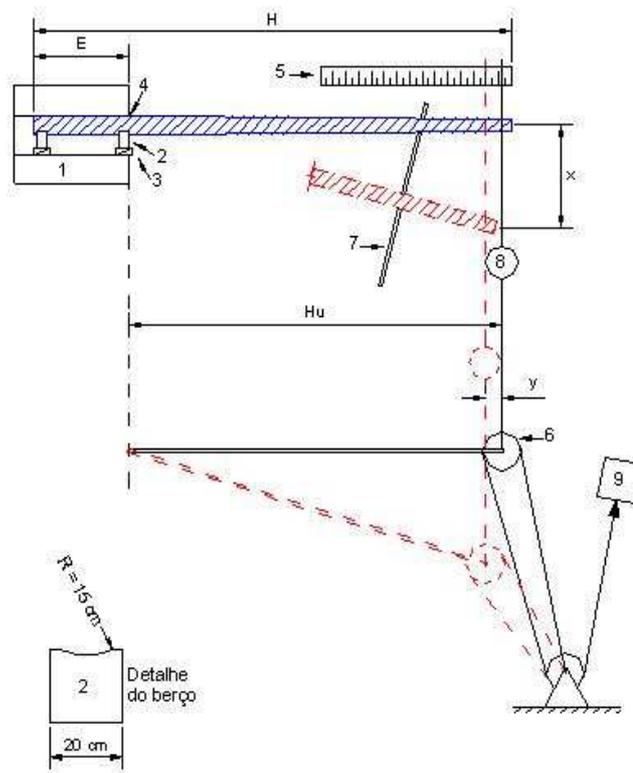


FIGURA 4.8 – Dispositivo para ensaio de resistência à flexão – (NBR 6231/1980)

- 1 - *Dispositivo para engastamento do poste a ensaiar;*
- 2 - *Berço de madeira para acomodação do poste (ver detalhe);*
- 3 - *Cunhas de madeira;*
- 4 - *Seção de engastamento;*
- 5 - *Trena;*
- 6 - *Moitão;*
- 7 - *Suporte;*
- 8 - *Dinamômetro;*
- 9 - *Dispositivo para tração;*
- H - *Comprimento total do poste;*
- E - *Comprimento do engastamento;*
- Hu - *Comprimento útil;*
- A - *Escala graduada em centímetros;*
- Y - *Deslocamento do ponto de aplicação de carga em direção à base do poste, quando este está sujeito a carga;*
- X - *Flecha;*

Segundo a NBR 6231/1980 a aplicação da carga deve ser contínua e sua velocidade é dada pela Eq. 4.8, em função da flecha no ponto de aplicação da mesma.

$$V = k \cdot \frac{Hu}{C} \quad (4.8)$$

Onde,

V: *velocidade de deformação cm/mim;*

Hu: *braço de alavanca em cm;*

C: *Circunferência na seção de engastamento em cm;*

k: *0,00146*

Para os cálculos do limite de resistência à flexão da madeira na seção do engastamento e do módulo de elasticidade, têm-se as Eq. 4.9 e 4.10.

$$\sigma_F = \frac{32 \cdot \pi^2 \cdot P \cdot L}{C^3} \quad (4.9)$$

Sendo,

σ_F : *limite de resistência da madeira na seção de engastamento (MPa);*

P: *carga de ruptura (N) ;*

L: Distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de “y”

- ($L = Hu - y$) – (cm);

C: circunferência na seção do engastamento (cm);

$$E = \frac{64 \cdot \pi^3 \cdot L^2}{3 \cdot C^3 \cdot c} \times \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (4.10)$$

Onde,

E: módulo de elasticidade da madeira (MPa);

C: circunferência na seção de engastamento (cm);

c: circunferência no ponto de aplicação de carga (cm).

O ensaio de resistência à flexão (elasticidade e carga de ruptura) deve ser feito a cada sub-lote de até 200 unidades. Caso o ensaio realizado não seja satisfatório, uma nova amostragem deve ser realizada, com o dobro de exemplares da primeira amostragem, e se for constatado qualquer falha, todo o lote sob inspeção deve ser rejeitado.

Entretanto Miná et al. (2006) apresenta três graves erros na NBR 6231/1980 sendo um erro na equação da velocidade de carregamento, e outros dois erros na equação da determinação do módulo de elasticidade, no valor do comprimento “L” e no deslocamento a ser considerado. Para a correção do erro em função da velocidade de carregamento foi avaliada comparativamente com o método de ensaio prescrito pela ASTM D 1036/97, a qual adota o mesmo mecanismo de carregamento. Enquanto aos erros na equação do módulo de elasticidade, estes foram avaliados pelo Processo dos Trabalhos Virtuais (PTV). Com as correções realizadas as equações para a determinação na velocidade de carregamento e na determinação do módulo de elasticidade são:

$$V = k \cdot \frac{Hu^2}{C} \quad (4.11)$$

$$E = \frac{64 \cdot \pi^3 \cdot L^3}{3 \cdot C^3 \cdot c} \times \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (4.12)$$

- Na Eq. 4.10 o comprimento “L” está elevado ao quadrado, enquanto que Eq. 4.12 este valor está elevado à terceira potência;
- A Eq. 4.10 considera o deslocamento no sentido do eixo longitudinal, porém não considera o valor do deslocamento perpendicular ao eixo conforme a Eq. 4.12;

A NBR 6231 está publicada desde 1980, sendo até o momento 29 anos de que ela está em vigor. Porém até o presente momento não foi publicada uma Errata para correção deste mesmo, concluindo-se que tais erros durante todos esses anos não foram percebidos e identificados. Para que tal fato tenha ocorrido podemos considerar três situações possíveis:

- Não foram produzidos postes de madeira durante tal período, não sendo assim possível e/ou necessário executar o ensaio conforme previsto por norma;
- Foram produzidos postes de madeira durante o período, mas não sendo executado o ensaio previsto pela norma;
- Foram produzidos postes de madeira durante o período, com a realização do ensaio previsto por norma, porém este não sendo executado rigorosamente conforme a norma específica.

Considera-se que as duas últimas situações sejam as mais prováveis de terem ocorrido, sendo que quaisquer umas destas duas que tenho ocorrido na maioria das vezes, revelam um grave defeito do meio técnico nacional: a não execução de ensaios conforme previsto e especificado pelas normas. Qualquer engenheiro que realize o ensaio conforme o especificado pela norma, é capaz de perceber inconsistência nos valores obtidos.

4.4 Inspeção dos postes de madeira em serviço

Devido à probabilidade de vida útil longa dos postes de madeira, oportunas inspeções de desempenho destes postes em campo são úteis, averiguando se as exigências mínimas de padrões de preservação de madeira existentes provêm adequada proteção. Isto é particularmente verdade para postes usados nos trópicos, onde o potencial para ataque biológico é maior que em climas temperados, DeGroot (1986), visto que estas regiões atendem as condições necessárias (umidade e temperatura) para o rápido ataque de organismos xilófagos.

Pertile et al. (1990), relata que os postes de madeira da CEEE, têm duração média estimada de 20 anos sem retratamento, estimando-se que a vida dos postes de madeira poderá atingir até 50 anos com a execução de tratamentos periódicos a cada 8 anos.

A AS/NZS 4676:2000 recomenda que as inspeções sejam realizadas periodicamente conforme a Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Períodos recomendados para inspeção de postes de madeira – (AS/NZS 4676:2000)

Espécie e classe	Tratamento preservante	Inspeções periódicas recomendadas (anos)	
		Primeira	Subseqüentes
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 1*	Sem tratamento	10	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 1*	H5 para alburno	20	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 2*	Sem tratamento	10	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 2*	H5 para alburno	20	Entre 3 a 6
Radiata pine plantation softwood	H5	20	Entre 3 a 6

(*) Ver Tabelas 3.15 e 3.16

Morrel (1996) descreve que diante de um poste biodeteriorado, um inspetor do Programa de Manutenção de Postes, deve tomar 1 de 3 decisões:

- Aprovação do poste com tratamento corretivo;
- Aprovação do poste com tratamento corretivo e reforço;
- Reprovação do poste.

Na maioria dos casos de postes com apodrecimento interno, é requerido um mínimo de 5 cm (2 polegadas) de casca externa de madeira sã, embora possa variar as exigências considerando a carga do poste, configurações ou condições climáticas, Figura 4.9. Para postes com apodrecimento externo, o inspetor deve retirar toda a madeira apodrecida, e posteriormente medindo a circunferência de madeira sã, a qual é comparada com uma tabela para verificar se é permitida para tal classe de poste. Possuindo adequada quantidade de madeira na casca ou de circunferência (para apodrecimento interno ou externo, respectivamente), os postes são corretivamente tratados.

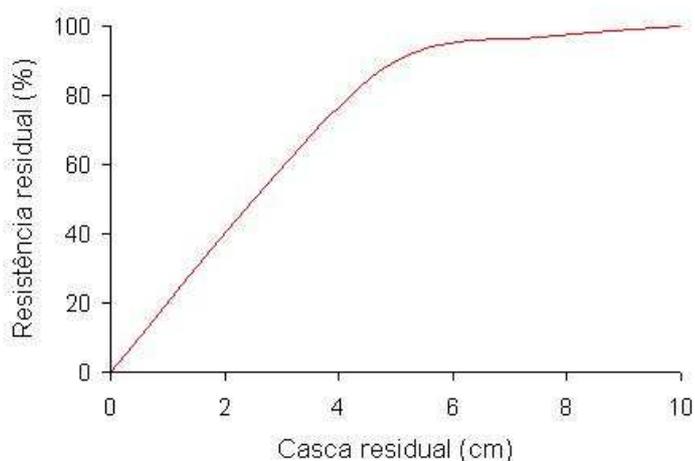


FIGURA 4.9 – Resistência pela espessura da casca residual do poste – (MORRELL, 1996)

4.4.1 Metodologia de inspeção M13-92

A norma “*M13-92 A guideline for the physical inspection of poles in service*”, da “American Wood-Preservation Association – AWP”, é um guia feito exclusivamente para detectar defeitos que afetam a durabilidade de postes de madeira em serviço e para auxiliar projetos de especificações de sistemas particulares.

a) Inspeção preliminar

Os postes devem ser examinados preliminarmente por uma inspeção visual, em todos os lados, do topo para a base, em qualquer defeito. Deve ser direcionada uma atenção particular para notar ítems como: danos mecânicos, apodrecimento externo, ataque de insetos, furos de nós, furos de pica-paus, e fraturas na seção transversal. Qualquer poste não-aproveitável encontrado deve ser substituído sem adicionais inspeções. Postes aproveitáveis encontrados em inspeção visual devem ser percutidos com um martelo leve ao redor de sua circunferência a partir do afloramento até pelo menos 1,20 m acima. Qualquer região suspeita de defeitos internos deve ser examinada por adicional perfuração para o interior do poste a um ângulo íngreme com uma lâmina afiada ou com uma broca para avaliar qualquer dano. Todos os furos devem ser encharcados com um produto preservativo e fechados com ajustadas cavilhas tratadas. Qualquer poste não-aproveitável encontrado deve ser substituído sem adicionais inspeções.

b) Inspeção na zona de afloramento

Para postes com durabilidade, encontrados em complemento da inspeção, deve ser feita inspeção adicional abaixo da linha do afloramento. Deve ser direcionada uma atenção particular para a detecção de apodrecimento externo através de percussão e raspagem com escova de aço. Um ou mais furos devem ser realizados a partir da região conhecida em comum para mostrar a maior incidência de apodrecimento interno. Este pode variar a partir da imediata região de afloramento, para muitos centímetros abaixo do solo, dependendo da espécie, tratamento preservativo, tipo de solo e clima.

Em regiões onde a precipitação anual exceda 500 mm, os furos devem ser feitos no afloramento. Para precipitação anual inferior a 500 mm, o poste deve ser escavado até uma profundidade de 45 cm e os furos devem ser feitos neste nível.

Os postes devem ser furados onde a percussão indicar a possibilidade de um defeito ou próximo a uma fenda (se uma estiver presente). Se nenhum defeito está aparente, o furo deve ser feito apenas abaixo, no afloramento à ângulo de 45° para o centro do poste. Os cavacos dos furos devem ser examinados para evidenciar apodrecimento ou umidade excessiva. Se apodrecimento interno é localizado, faz-se adicional furo para determinar o mínimo e a máxima dimensão da casca. Uma espessura da casca deve ser usada também para determinar a extensão do vazio. Postes com apodrecimento externo devem ser raspados para remover madeira suficiente para obter uma estimativa segura da profundidade da região afetada. Apodrecimentos ao redor e nas fendas também devem ser removidos para determinar a profundidade e largura do apodrecimento. Os furos da inspeção devem ser preenchidos com um preservativo e fechadas com ajustadas cavilhas tratadas.

Vários dispositivos de testes não-destrutivos têm sido desenvolvidos para inspeção de postes. Tais dispositivos dão um valor de resistência residual, baseado em comparações com postes previamente inspecionados de algumas espécies, porém não podem detectar apodrecimento e devem ser usados em conjunto com procedimentos normais de perfuração.

Um adicional tratamento preservativo no afloramento deve ser aplicado para qualquer poste não rejeitado que foi escavado para esta inspeção complementar. Postes com apodrecimento externo devem ter toda a madeira apodrecida removida a partir da superfície e exposto antes do tratamento. Postes com orifício de apodrecimento incluso ou interiores ocos devem ser inundados interiormente com um preservativo e também tratados externamente.

Quando o apodrecimento é detectado, é recomendada a aplicação de adicional preservativo. A superfície de apodrecimento é normalmente controlada por aplicação de pastas preservativas na superfície abaixo do afloramento. A madeira apodrecida é raspada antes da aplicação da pasta. Estas pastas são então cobertas com plástico ou papel de

embrulho. Preservativos de afloramento contêm combinações de soluções à base de óleo (para prover uma barreira contra novos danos) e à base hidrossolúvel (para deter os fungos do apodrecimento já presentes na madeira). O apodrecimento interno é detido por aplicação de fumegantes, os quais aplicados como líquidos ou sólidos, mas movem-se através da madeira como gases. Estas substâncias químicas são pesticidas de uso restrito e devem ser aplicados com um aplicador licenciado. Os fumegantes são normalmente aplicados por furos de inspeção e então estes são tampados com cavilhas tratados, para reter as substâncias químicas. A dosagem é dependente do diâmetro do poste. Vazios internos são geralmente tratados por inundação da cavidade com um preservativo oleossolúvel, os quais algumas vezes contém um inseticida.

c) Registros

Os longos intervalos entre inspeções da mesma estrutura fazem registros precisos que mantêm uma necessidade, esses registros devem ser incluídos em dados de inventário de poste normalmente computadorizados, de modo que planejadores possam examinar estes registros para a atualização das linhas. Registros de computador podem também automaticamente identificar linhas para ser inspecionada, ou estruturas as quais devem ser inspecionadas mais frequentemente. Sobre um longo prazo, o desempenho de postes com específicos tratamentos, podem ser desenvolvidos para melhor a confiabilidade das especificações.

Os dados mínimos a serem coletados devem incluir:

- Espécie de madeira;
- Tratamento químico;
- Idade do poste;
- Tipo de defeito e localização;
- Defeito externo;
- Máxima profundidade e localização do defeito;
- Defeito interno;
- Posição do defeito;
- Espessura da casca residual;
- Carregamento do poste e configuração;
- Tratamento externo aplicado;
- Tratamento interno aplicado;

d) Avaliação dos Resultados

Os dados coletados devem ser aplicados para cada poste individualmente sendo examinados usando práticas de reconhecidas de engenharia. As tensões desenvolvidas pelos momentos, determinados para o carregamento do poste sob consideração, não devem exceder os valores permitidos por cada agencia sob qual um individual poste é requerida para operar.

Todos os defeitos (apodrecimento, danos mecânicos, ataque de insetos, etc) devem ser avaliados usando resistência ou tabela de redução de circunferência, e conferidas contra a resistência mínima ou tabelas de circunferência preparadas ou aprovadas por engenheiros. Qualquer poste que não satisfaz exigências mínimas dever ser avaliado como não aproveitável.

4.4.2 Metodologia de inspeção: A perfuração controlada

Segundo Lima et. al. (2006), o equipamento utilizado para a técnica de perfuração controlada, o Resistograph®, foi inicialmente desenvolvido na Alemanha, para a avaliação de postes e outras estruturas de madeira, para a prospecção interna de um caule possibilitando a identificação de ocos, podridões, fendas, furos de insetos e outros eventos comuns em árvores, Figura 4.10.

O Resistograph mede a resistência à perfuração da madeira à penetração de uma broca de 3 milímetros de diâmetro aplicada a uma velocidade constante. A resistência à perfuração é captada por um dispositivo mecânico sensível que a transfere para uma unidade computadorizada. As diferenças no torque requerido para perfurar a madeira são registradas, sendo que um torque menor é requerido para perfurar através da madeira deteriorada, sendo caracterizada por uma queda abrupta na resistência à perfuração.



FIGURA 4.10 – Uso do Resistograph® na avaliação de postes de madeira

Avaliando caules de 23 espécies de árvores, Lima et al. (2006) relata que o equipamento Resistograph®, modelo F400-S, mostrou-se um instrumento rápido, confiável e viável para avaliação da estrutura interna dos caules de árvores, identificando árvores com caules saudáveis e com caules estruturalmente comprometidos. Entretanto, Lima et al. (2006) afirma que devido ao Resistograph® ser um instrumento relativamente novo, são necessárias contínuas investigações para sua adequada utilização, sendo as limitações da aplicação do equipamento estão na habilidade em interpretar as informações fornecidas.

Valle et al. (2006) utilizou o método da perfuração controlada para avaliar quatro treliças de uma estrutura do telhado, identificando em cada uma desta o grau de deterioração das peças componentes (banzos, diagonais, pendurais), Figura 4.11.

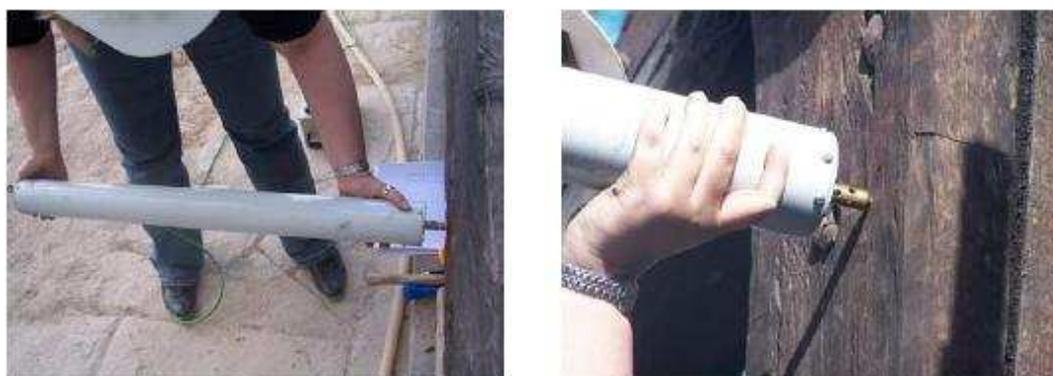


FIGURA 4.11 – Uso de equipamento de perfuração controlada na avaliação de tesoura – (VALLE et al.; 2006)

Valle et al. (2006) conclui em seu trabalho que o método de perfuração controlada é útil para avaliar o estado de integridade de seções transversais, quando esta avaliação não

é possível ser feita apenas com base na inspeção visual ou por percussão, podendo avaliar a extensão de uma podridão ou confirmar a ocorrência de galerias de insetos. A Figura 4.12 mostra o perfil da secção transversal em um elemento de tesoura obtido por Valle et al. (2006) na avaliação desta pela perfuração controlada.

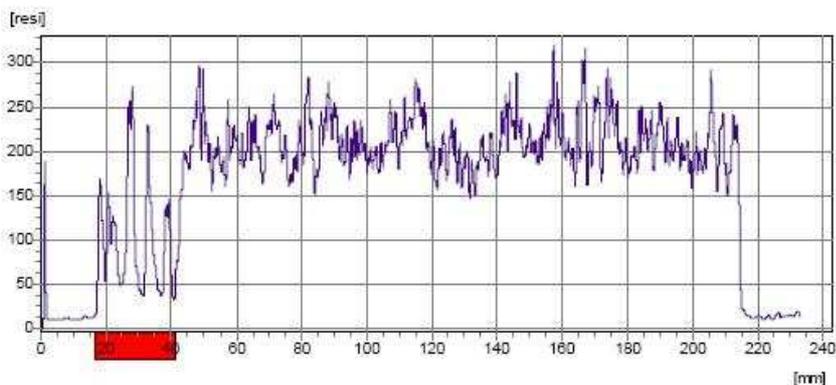


FIGURA 4.12 – Exemplo de perfil gerado por avaliação controlada em elemento de tesoura – (VALLE et al., 2006)

Entretanto Valle et al. (2006), também relata que são necessários mais estudos para que se possam relacionar os resultados do Resistograph® aos valores de resistência ou densidade da madeira, sendo a posição dos anéis de crescimento, a variação de propriedades inerentes ao material madeira e a influência da umidade, fatores que influenciam os resultados dos testes.

Por estes relatos, verifica-se que o novo método pode ser utilizado tanto em árvores como em peças de madeiras, serradas ou roliças. Entretanto ambos afirmam que apesar desta técnica apresentar boa eficiência, ela deve continuar sendo pesquisada devido ao pouco conhecimento acumulado sobre tal.

4.5 Inspeção empírica de postes

Utilizou-se o trado de amostragem de madeira, para avaliação superficial da sanidade de um poste de aroeira o qual está em serviço na cidade de São José do Rio Preto-SP, na Rua Luiz Figueiredo Filho nº 1660. Apesar de não haver placa de identificação neste poste bem como em outros do mesmo tipo, relatos de moradores das cercanias, indicam que tal poste esta neste local está em uso desde a formação do bairro, algo em torno de 40 anos.

Mainieri; Chimelo (1989) descrevem as características da madeira de AROIRA-DO-SERTÃO ou URUNDEÚVA como segue abaixo:

Características gerais

Madeira muito pesada; cerne bege-rosado ou castanho claro, quando recém-cortado, escurecendo para castanho ou castanho-avermelhado-escuro; alburno direfenciado, branco levemente rosado; textura média, uniforme; grã irregular e reversa; superfície um tanto lustrosa e lisa ao tato; cheio e gosto imperceptíveis.

Durabilidade natural

É tida na prática como a de mais alta resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins de madeira seca.

Tratamento preservante

Tendo seus vasos excessivamente obstruídos por tilos e óleo-resina e fibras de lume extremamente reduzido, em tratamentos severos sob pressão, demonstrou ter permeabilidade extremamente baixa às soluções preservantes.

Principais aplicações

Por ser muito pesada, de resistência mecânica alta, e por ter alta durabilidade natural, é indicada para construções externas, como vigamentos de pontes, estacas, postes, esteios, mourões, dormentes; em construção civil como vigas, caibros, ripas, tacos para assoalho, peças torneadas etc.

Pelas Figuras 4.13 e 4.14 pode-se verificar o quão ainda tal poste está são superficialmente. A coloração escura é apenas superficial.

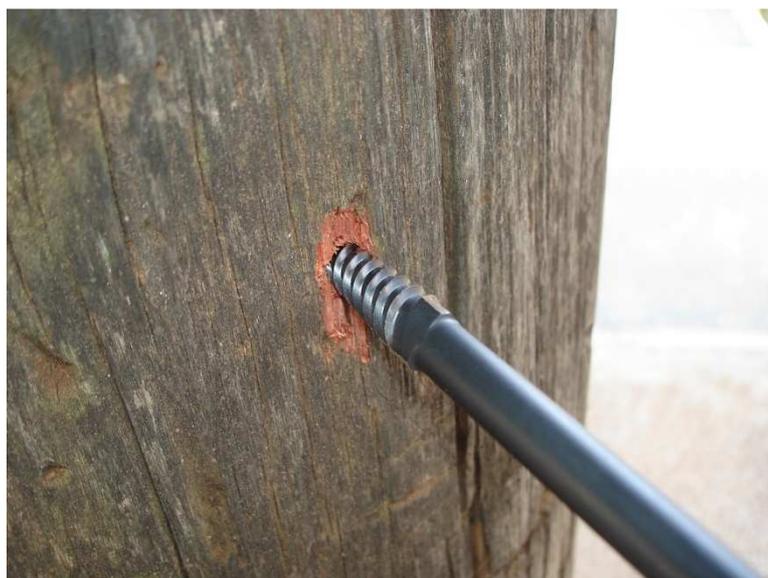


FIGURA 4.13 – Utilização do trado de amostragem para verificação superficial da sanidade do poste de aroeira



FIGURA 4.14 – Material superficial retirado de poste de aroeira

4.6 Proposta para aumento da durabilidade dos postes

Para o aumento da vida útil dos postes de madeira, pequenas ações podem ser realizadas.

A Figura 4.15 mostra um poste em que na região do afloramento existe uma pintura a de produto asfáltico⁵, e uma fita metálica. Pintura contribui com a diminuição da permeabilidade da superfície, enquanto a fita metálica diminui a abertura de fenda no poste próximo ao afloramento.

⁵ Tal produto possui características próximas ao conhecido NEUTROL, produto o qual é muito utilizado em impermeabilização de fundações residenciais.



FIGURA 4.15 – Poste com pintura impermeabilizante e fita metálica no afloramento

A Figura 4.8 mostra a região do afloramento do poste, onde após escavada apresenta pintura impermeabilizante, apenas abaixo do nível do solo, diferentemente do poste mostrado pela Figura 4.16.

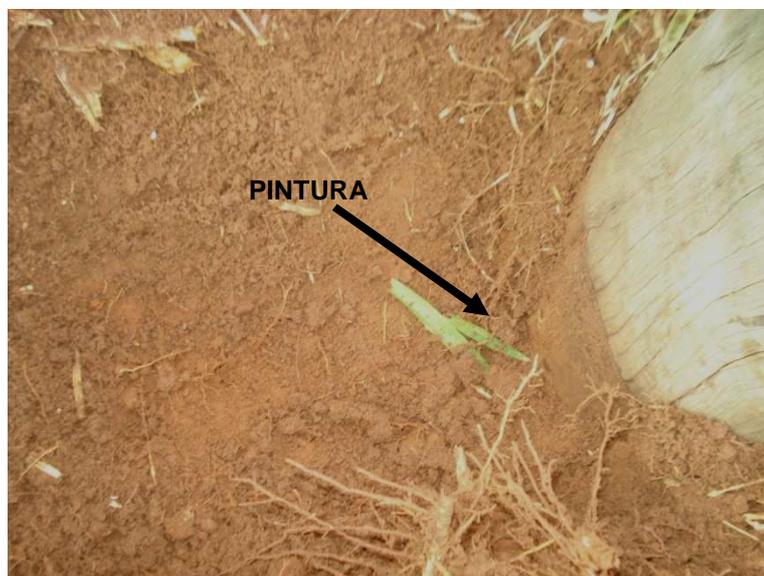


FIGURA 4.16 – Poste com pintura impermeabilizante abaixo do nível do solo

Outra ação que vem contribuir como o aumento da vida útil é a utilização de chapas de dente estampado do tipo GANG NAIL no topo, bem como na base do poste, Figuras 4.17 e 4.18. Ambas as chapas com a finalidade de diminuir o fendilhamento do poste na extremidade.



FIGURA 4.17 – Chapa de dente estampado no topo do poste



FIGURA 4.18 – Chapa de dente estampado na base do poste

A atual norma nacional de postes de madeira (NBR 8456/1984) não indica a obrigatoriedade de tais ações. Nesta norma, o item 4.7.7 indica:

Tratamento adicional da base

A critério do usuário, **pode** ser exigido, em casos específicos de postes destinados a áreas de alta incidência de ataque por térmitas, que o fornecedor faça um tratamento adicional da base, com produto de comprovada eficiência, como proteção extra à parte inferior do poste.

Entende-se que tais ações devem ser impostas pela norma, não apenas sendo uma questão de acordo entre fabricantes e compradores. Deve-se lembrar que os postes para

eletrificação servem para distribuir energia em regiões rurais e urbanas onde vive a sociedade brasileira, que é a verdadeira usuária de postes tanto de madeira bem como de concreto. Assim a ABNT – Associação de Normas Técnicas, deveria impor as condições que um produto ou serviço deve ser fornecido.

Duas ações que aumentariam a durabilidade dos postes são propostas:

1. Utilizando um produto adequado a pintura na região do afloramento pode contribuir minimizando o efeito do *Weathering* nesta região, não havendo a necessidade desta pintura ser realizada em toda a região de engaste do poste. Abaixo do nível do afloramento realizar-se-ia uma pintura tendo apenas o intuito de diminuição da permeabilidade da madeira.
2. Além da chapa de dente estampado, tanto no topo bem como na base poder-se-ia pintar ambas com material impermeabilizante para a diminuição da permeabilidade nestas superfícies, as quais são mais susceptíveis à absorção de água devido à anatomia da madeira.

Pesquisando materiais que possuem características de flexibilidade, impermeabilidade, e resistência aos raios ultravioletas, o autor encontrou em Bauer et al. (2007), a citação das membranas acrílicas⁶.

As membranas acrílicas são polímeros resultantes da polimerização dos monômeros do ácido acrílico ou metacrílico. Possuem boa elasticidade, aderência e boa resistência aos raios UV, sendo largamente utilizados no Brasil, principalmente pelo custo reduzido, (BAUER et al, 2007).

Entretanto, não apenas ações no momento da produção podem aumentar a vida útil dos postes. A Figura 4.19 mostra uma inadequada instalação de um poste de madeira, onde este está fixado entre a calçada e a sarjeta de escoamento de água.

⁶Como referência de membrana acrílica largamente utilizada na construção civil como impermeabilizante, tem-se o produto IGOLFLEX, da empresa SIKA.



FIGURA 4.19 – Poste de madeira instalado inadequadamente

Desta forma tal poste devido ao permanente contato com água, está sujeito à lixiviação do produto preservativo, e à ciclos de molhagem e secagem. Com toda certeza, este poste possuirá sua vida útil diminuída.

Caso a instalação de um poste seja inevitável em local onde ocorra a situação mostrada pela Figura 4.20, seria adequado e recomendável que o afloramento fosse protegido por um “colarinho” de concreto de baixa permeabilidade, que dificultaria o contato da água com a madeira, conforme Figura 4.20.

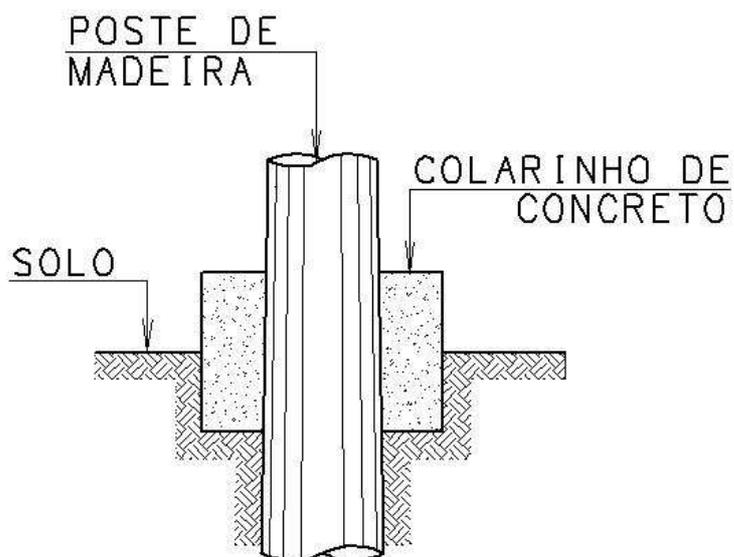


FIGURA 4.20 – Colarinho de concreto para proteção do afloramento

5 MANUTENÇÃO E REFORÇO DE POSTES DE MADEIRA

Os programas de inspeções, conduzidos pelas concessionárias têm por objetivo, localizar os postes deteriorados afim de substituí-los. Entretanto, por falta de treinamento e de ferramental adequado, pode não se avaliar a correta extensão de um apodrecimento ou de um oco interno e conseqüentemente destinado a substituição dos postes com condições de recuperação. Em muitos casos, tendo-se em vista que a inspeção somente voltará a ser feita um ou dois anos depois, postes recuperáveis são por precaução, substituídos prematuramente, (BOTTAZZO et al., 1988).

Alawady; Avent; Mukai (1998) comenta que durante 10 anos foram vários os artigos tratando sobre gestão de postes, entretanto realizando uma pesquisa sobre reparo de postes deteriorados em uma base de dados, apenas 1 artigo foi encontrado considerando o mesmo período. Relata que o reparo envolve frequentemente o reforço de uma seção utilizando dispositivos mecânicos, porém este processo não reestabelece a resistência original do poste.

Segundo Bottazzo et al. (1988) a empresa CESP – Companhia Energética de São Paulo executa apenas três tipos básicos de manutenção, podendo ser executadas separadamente ou combinadas entre si:

- Manutenção externa;
- Manutenção interna;
- Manutenção do solo;

Tanto a manutenção externa bem como a interna apenas prevê a aplicação de soluções de preservativos.

Ibach (1999) mostra um sistema de tratamento de postes em serviço, envolvendo o processo de difusão, Figura 5.1. Na região do afloramento, o preservativo pode ser injetado com uma ferramenta especial, sendo aplicada na superfície do poste como uma pasta ou bandagem, ou derramando nos furos feitos na região do afloramento. Tais tratamentos estabelecem valores para aplicação para postes não-tratados em serviço.

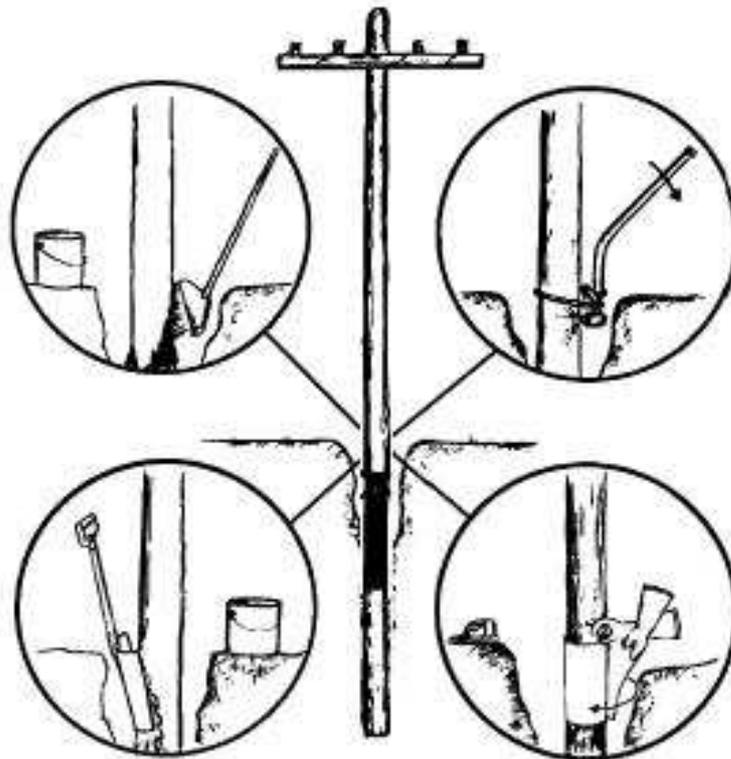


FIGURA 5.1 – Método de aplicação tratamento no afloramento de poste em serviço – (IBACH, 1999)

Fazendo uma adaptação do conceito de manutenção corretiva ou preventiva mostrado na Figura 2.1, a realização de manutenção com apenas a aplicação de solução preservativa não restabelece as capacidades resistentes do poste, podendo ser idealizado um diagrama *Tempo x Desempenho*, segundo a Figura 5.2.

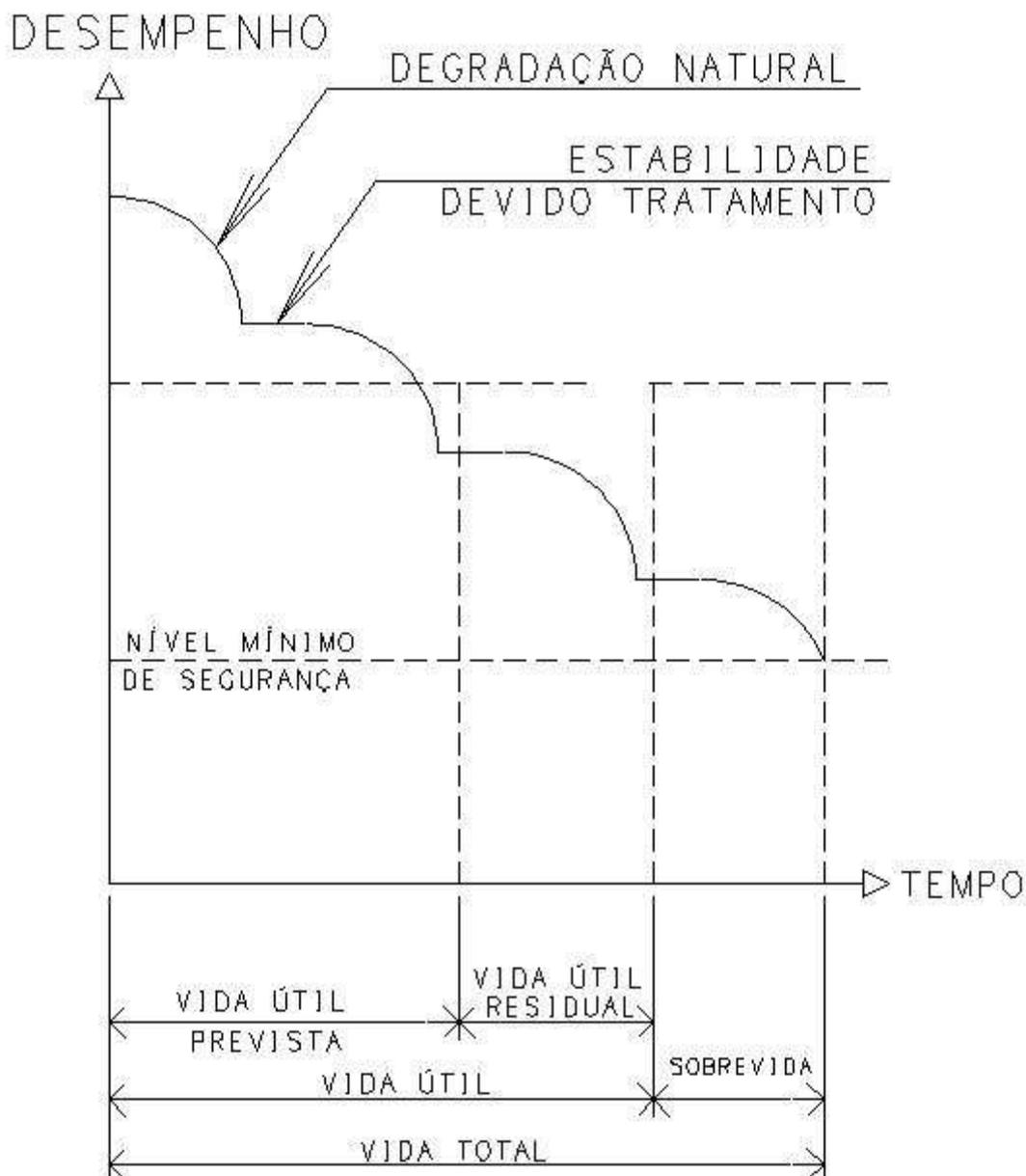


FIGURA 5.2 – Desempenho ao longo do tempo para poste em serviço

Campos (1982) cita alguns tipos de sistemas de reforço utilizados para a reabilitação de postes de eletrificação deteriorados na região do afloramento.

a) “Sistema OSMO-C-TRUSS: reforço de aço de perfil semicircular, cravado por um martelo a ar comprimido, a uma profundidade de 6” (15 cm) abaixo da base do poste, ficando 4” (10 cm) acima do solo e amarrado ao mesmo por 3 cintas de aço, permitindo estender a vida útil do poste afetado por mais 20 anos. Tal método estava sendo utilizado pelas empresas KANSAS P & L. CO., TEXAS P & L. CO. E VIRGNIA E & P. CO., entre outras.

b) Sistema INERT POLE GUARD: desenvolvido pela MONOLIGHT, INC., New Britain, C.T., e utilizado pela A UNITED ILLUMINATING CO., protegendo-os contra posterior apodrecimento e permitindo a continuidade do serviço durante a sua aplicação. Este método é descrito abaixo:

- Abertura de vala de 60 cm ao redor da base do poste, aplicando ao seu redor 10 barras de aço de 1,20 m;
- Colocação de um colar de 1,20 m, descendendo 60 cm abaixo do nível do solo é colocada ao redor do poste;
- Aplicação de composto de resina epóxi e areia misturado à mão ou mecanicamente;

c) Sistema MOD-POLE: utilizado pela INTERPACE CO., compõe-se de um módulo de concreto protendido fabricado em 2 comprimentos de 18 ft (5,486 m) ou 9 ft (2,743 m) e um cilindro de aço galvanizado. O procedimento consta:

- Segurar o poste de madeira com guindaste;
- Serrar a base, e retirá-la do chão;
- Colocação do módulo MOD-POLE com a luva de aço;
- Fixação do poste de madeira na luva de aço;

DeGroot (1981) relata que em 1957 foram aplicados 12 tipos de tratamentos de afloramento em postes de Southern Pine não tratados, na tentativa de caracterizar o desempenho relativo de tratamentos disponíveis daquela época. Com exceção de um tratamento suplementar aplicado ao topo de cada poste, nenhum outro preservativo foi usado. Neste estudo os postes foram monitorados anualmente através da aplicação de carga lateral, do segundo ao nono ano, e após isto sendo monitorados em intervalos bianuais.

Vinte e dois anos após a instalação, vários desses postes ainda resistiram a ruptura no afloramento, embora estivessem nas partes superiores em fases avançadas de deterioração. Todos os tratamentos realizados aumentaram à resistência a deterioração no afloramento tendo como referência a amostra CONTROLE, porém obtendo diferenças entre os diversos tratamentos, Tabela 5.1, (DeGROOT, 1981).

TABELA 5.1 – Número de anos após instalação que os postes não romperam no afloramento quando submetido à aplicação de força^{1,2} – (DeGROOT, 1981)

Tratamento	Bandagem ³		Ingrediente ativo ⁴ (%)					Número de anos após instalação	
			C	P	D	FL	B	Todos os postes resistiram no afloramento ao ensaio	≥50% de postes resistiram no afloramento ao ensaio ⁵
Androc	+	+	15	10		10		11	21
Barret		+		5				7	11
Mycotox	+	+	45	5		38		11	21
Osmoplastic	+	+	34		3	46		13	19
Cobra					23			11	21
Preserva Life	+	+			13	21		7	11
Special dust				17		26	52	⁷ -	15
NaFl + Penta				5				6	11
Penta solution				5				4	5
Pentaplastic				11				4	6
Pol Nu	+	+		10				⁶ 21	⁶ 21
Woodtreat A				10				5	11
CONTROLE				10				-	2

¹ Todos os postes neste ensaio não foram carregados como viga.

² O último ensaio foi realizado em 1978, após 21 anos de instalação.

³ Aplicação de bandagem de filme de polietileno e/ou papel kraft ao redor poste depois de tratamento e antes da instalação sendo indicado por um +. Foram injetados tratamentos de naja em postes. Postes tratados com pentaplastic foram envolvidos com 37,5 cm de manta saturada com asfalto.

⁴ Ingredientes ativos são: C-carvão de alcatrão e/ou creosoto, P-pentaclorofeno, D-dinitrofenol, Fl-fluoreto de sódio, B-bórx e/ou ácido bórico. Algumas formulações contêm ingredientes ativos em adição a estes mostrados. São arredondadas porcentagens o mais próximo número inteiro.

⁵ Os postes foram monitorado anualmente do segundo ao nono ano, e em seguida bianualmente.

⁶ Removido um poste para análise em 1972.

⁷ Nenhuma observação no fim do primeiro ano.

Verifica-se que o tratamento que melhor apresentou resultado foi o Pul Nu, o qual possui diferença em relação a amostra CONTROLE apenas da aplicação de bandagem de filme de polietileno e de papel kraft, tendo sido aplicado o mesmo ingrediente ativo, na mesma concentração.

Alawady; Avent; Mukai (1998) estudaram a utilização da injeção de graute cimentício para a reabilitação dos postes, concluindo que este é um sistema que possui potencial econômico e estrutural para a madeira, porém com alguns aspectos adicionais a serem estudados antes de sua implementação.

A utilização de grautes e outros produtos a base de cimento portland devem ser cuidadosamente avaliada, visto que estes possuem incompatibilidades com a madeira tanto no estado fresco, bem como no estado endurecido, quando diretamente ligados.

Helene (1992) define o graute a base de cimento portland como um material fluido e auto-adensável no estado recém misturado, para preencher cavidades e subsequentemente tornar-se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido, sendo constituído por cimento portland, composto ou de alta resistência inicial, agregados, aditivos expansores e aditivos superplastificantes.

No estado fresco, os materiais a base de cimento em contato com a madeira podem perder quantidade significativa de água afetando o processo de hidratação e ocasionando retrações do graute, e conseqüentemente as propriedades mecânicas e a aderência ao substrato de madeira.

Quanto ao estado endurecido, dos vários grautes cimentícios disponíveis no mercado, são poucos os apresentados com os valores de módulo de deformação, nos catálogos técnicos de seus respectivos fabricantes (FOSROC, MBT, OTTO BAUNGART, SIKA). A Tabela 5.2 descreve os valores de módulo de deformação, dos grautes produzidos pela FOSROC.

TABELA 5.2 - Grautes produzidos pela FOSROC REAX (2002)

Produto	Utilização	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de Deformação (MPa)
Conbextra SR	Área de difícil acesso	70	29.000
Conbextra LA	Rápida resistência	50	33.100
Conbextra MCAD	Rápida liberação de forma	74	33.100
Conbextra UW	Estruturas submersas	44	20.000
Valor médio		59,5	28.800

Considerando a utilização de postes do gênero *Eucalyptus spp.*, os valores da resistência à compressão (f_{c0}) e módulo de elasticidade paralelo às fibras (E_{c0}), propostos pela NBR 7190/1997 são mostradas pela Tabela 5.3.

TABELA 5.3 - Valores médios de f_{c0} e E_{c0} para o gênero *Eucalyptus* spp. - (NBR 7190/1997)

Espécie	f_{c0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
<i>Eucalypto Alba</i>	47,3	13.409
<i>Eucalypto Camuldulensis</i>	48,8	13.286
<i>Eucalypto Citriodora</i>	62,0	18.421
<i>Eucalypto Cloeziana</i>	51,8	13.963
<i>Eucalypto Dunnii</i>	48,9	18.029
<i>Eucalypto Grandis</i>	40,3	12.813
<i>Eucalypto Maculata</i>	63,5	18.099
<i>Eucalypto Maidene</i>	48,3	14.431
<i>Eucalypto Microcorys</i>	54,9	16.782
<i>Eucalypto Paniculata</i>	72,7	19.881
<i>Eucalypto Propinqua</i>	51,6	15.561
<i>Eucalypto Punctata</i>	78,5	19.360
Valor médio	55,7	16170

Os valores do módulo de deformação dos grautes, indicados pelo fabricante FOSROC REAX (2002), são bem superiores aos das espécies de eucalipto, sendo quase duas vezes maior. Assim a execução de reparos em postes de madeira ou até mesmo em estruturas de madeira, através de grautes cimentícios em primeira análise não seria adequada, pois é inserido no local de reparo um novo material com uma rigidez muito superior ao da madeira. Com o preenchimento de um vazio interno sem uma forma e volume conhecidos, a compatibilização das deformações não é possível.

Desta forma a incompatibilidade da madeira e do concreto tanto no estado fresco, bem como endurecido, não favorece que a união entre estes dois materiais seja adequada, para que tal elemento em madeira a ser reparado (poste ou estrutura) seja considerado como adequadamente recuperado após o reparo ser executado.

6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DO PÍNUS

A lei de incentivos fiscais, criada em 1966, permitiu que as empresas do setor madeireiro, aplicassem parte de seus impostos devidos em reflorestamentos, tendo como resultado a imediata ampliação da área de floresta plantada no país, especialmente com espécies exóticas como o eucalipto e pínus, sendo que estes primeiros reflorestamentos incentivados foram feitos com o objetivo de produzir matéria-prima para a indústria de celulose e papel e a produção de energia sob a forma de carvão vegetal para a metalurgia, (MATOS, 2003). No início da década de 1980, a madeira de pínus passou a ser utilizada na fabricação de móveis tendo hoje boa aceitação por parte do público, (WATAI, 1991).

Segundo Tomaselli, Tuoto (2003), em 1990 o consumo de toras de Pinus no Brasil alcançava apenas 19 milhões de metros cúbicos, saltando para 42 milhões de metros cúbicos em 2001, tendo como crescimento médio na ordem de 7% a.a. neste período. Em 2003, a indústria de serrados foi principal consumidor de pinus no país 20 milhões de metros cúbicos (48%), seguido pelo setor de celulose e papel, 12 milhões de metros cúbicos, e pelo setor de painéis de madeira¹, este consumindo cerca de 8 milhões de metros cúbicos ao ano.

Matos (2003) relata que o uso da madeira de pínus na forma maciça tem como principal problema herdar os defeitos inerentes da madeira que foi obtida em programas de manejo voltados eminentemente para a produção de celulose, sendo que programas de poda e desbastes visando a produção de “madeira limpa” foram desconsiderados nestes projetos, com raras exceções.

A Tabela 6.1 demonstra os valores das características para algumas espécies, segundo Calil Júnior (2002).

¹ Compensado, aglomerado, chapa dura, MDF, OSB.

TABELA 6.1 – Valores médios e madeiras coníferas de florestamento, ensaios de amostras isentas de defeito – (CALIL JÚNIOR. - 2002)

Nome Comum	Nome Científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)	N
Pínus caribea	<i>Pinus caribea</i> var. <i>Caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8431	28
Pínus bahamensis	<i>Pinus caribea</i> var. <i>Bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110	32
Pínus hondurensis	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868	99
Pínus elliotii	<i>Pinus</i> var. <i>elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
Pínus oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i> <i>shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904	71
Pínus taeda	<i>Pinus taeda</i> L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15

As espécies de *Pinus elliotii*, *oocarpa* e *taeda* possuem módulo de elasticidade à compressão paralela de mesma ordem apresentada pelas espécies de Eucalipto Alba, Rostrata e Tereticomis conforme a NBR 8456/1984, apresentadas no Anexo 2. Entretanto é bom lembrar que o módulo de elasticidade à flexão é um pouco menor que o valor do módulo de elasticidade à compressão paralela as fibras (E_{c0}).

Bortoletto Júnior (1993) ao estudar a utilização de seis espécies do gênero *Pinus* na construção civil, resume seu trabalho, Tabela 6.2. Nota-se que das seis espécies apresentadas, e dos cinco grupos de utilização da madeira citados, apenas o *Pinus bahamensis*, não apresenta ser adequado ao grupo da construção civil leve externa. Este fato se deve a sua baixa resistência à flexão, bem como para todas as outras espécies, porém não possuindo outras propriedades de resistência que melhorem este baixo desempenho.

TABELA 6.2 - Resumo das conclusões - (BORTOLETTO JÚNIOR, 1993)

Grupos	Aplicações	Variedades					
		BAHAMENSIS	CARIBAEA	HONDURENSIS	ELLIOTTII	OOCARPA	TAEDA
Construção civil leve externa	Moirões		X	X	X	X	X
	Pontaletes		X	X	X	X	X
	Porteiras		X	X	X	X	X
	Andaimes		X	X	X	X	X
	Longarinas		X	X	X	X	X
	Calhas		X	X	X	X	X
	Elementos de cobertura		X	X	X	X	X
	ESQUADRIAS EM GERAL: portas, venezianas, caixilhos, batentes		X	X	X	X	X
Tabuado em geral, vigas		X	X	X	X	X	
Construção civil leve interna	DECORATIVA: lambris, painéis molduras, perfilados, guarnições	X	X	X	X	X	X
	UTILIDADE GERAL: cordões, forros, guarnições, rodapé	X	X	X	X	X	X
	ESTRUTURAL: vigas, caibros, ripas	X	X	X	X	X	X
Chapas Compensadas	UTILIDADE GERAL: partes internas de móveis, armários, forros, divisórias, usos generalizados	X	X	X	X	X	X
	PARA CONSTRUÇÃO: formas para concreto, coberturas, anteparos, divisórias, usos generalizados	X	X	X	X	X	X
Lâminas	DECORATIVA: Lâminas para face de compensado decorativo; Face de móveis, caixas de aparelhos de som	X	X	X	X	X	X
	UTILIDADE GERAL: Miolo de chapas compensadas, portas; Outros usos	X	X	X	X	X	X
Chapas Aglomeradas	UTILIDADE GERAL: Divisórias, painéis de fechamento Móveis, usos generalizados	X	X	X	X	X	X

Considerando a classificação adotada por Bortoletto Júnior. (1993), os postes de eletrificação e telefonia, podem ser classificados na classe “Construção Civil Leve Externa”, tendo em vista as baixas solicitações as quais estes estão submetidos.

Porém como desvantagem, o gênero *Pinus* possui baixa resistência natural ao ataque de organismos xilófagos, Watai (1991). Segundo Barillari, Jankowsky, Freitas (2002) ao utilizar madeira em contato com o solo, é necessário o uso de espécies de alta durabilidade natural ou de baixa durabilidade submetidas a tratamento preservativo, sendo

considerada por diversos autores como inferior a dois anos quanto em contato direto com o solo.

Entretanto, a alta permeabilidade da madeira de pínus proporciona que toda a seção transversal seja tratada por processos de impregnação sob pressão, o que já não ocorre com as espécies de eucalipto.

A Tabela 6.3 mostra os índices de durabilidade de algumas espécies de *Pinus* pela AS 5604-2005 e indicadas para o uso nacional, pelas normas *NBR 7190/1997 Projeto de estruturas de madeira*.

TABELA 6.3 – Índices de durabilidade natural de Pinus – (AS 5604-2005)

Nome vulgar <i>Nome científico</i>	Susceptibilidade do alburno a Lictídeos	Resistência de térmitas pelo cerne	Classe de durabilidade natural do cerne		Resistência do cerne à brocas marinhas
			Em contato com o solo	Externo, acima do solo	
pine, Caribbean <i>Pinus caribaea</i>	NS	R	4	4	4
pine, loblolly <i>Pinus taeda</i>	NS	NR	4	4	4
pine, radiata <i>Pinus radiata</i>	NS	NR	4	4	4
pine, slash <i>Pinus elliotii</i>	NS	R	4	4	4

A AS 2209-1994 *Timber – Poles for overhead lines* normatiza várias espécies para o uso de peças roliças como postes, tanto *Hardwood* bem como *Softwood*, conforme descritas no ANEXO C, dentre as quais as espécies indicadas na Tabela 6.3 fazem parte.

Para a caracterização de peças roliças a norma ANSI 05.1 - *Wood poles, specifications and dimensions*² fornece critérios de aceitação em quatro categorias básicas: forma, características de crescimento, defeitos de processamentos e características mecânicas, (WOLFE; MOODY, 1997)

Segundo Wolfe; Moody (1997) esta norma lista 25 espécies nativas dos Estados Unidos que são considerados por exibirem as propriedades físicas e mecânicas apropriadas para uso como postes. Valores de tensão de ruptura, tamanho de poste e forma são dados para cada destas espécies. Porém, foram retiradas quatro espécies da norma AWPA C4 para tratamento preservativo de postes, devido elas raramente ser usadas; seis outras espécies são indicadas pela ANSI 05.1 como geralmente não usadas. Seis das outras 15 espécies respondem por 90% de postes produzidos e usados nos Estados Unidos Estados. As seis espécies incluem quatro espécies de Southern Pine, agrupadas e comercializadas juntas, Douglas-fir e Western redcedar, Figura 6.1.

² American National Standards Institute, 1992. Wood poles, specifications and dimensions. ANSI 05.1, New York.



FIGURA 6.1 – Produção de postes por espécies nos Estados Unidos – (WOLFE; MOODY, 1997)

Wolfe; Moody (1997) relatam que a ANSI 05.1 adota para a classificação mecânica a capacidade de carga do poste, tratando todos os postes que reúnem os critérios de aceitação como uma única classe, na qual a resistência varia somente entre espécies, Tabela 6.4.

TABELA 6.4 – Espécies de postes por tensão de ruptura pela ANSI 05.1 – (WOLFE; MOODY, 1997)

Grupo	Tensão de ruptura	
	(psi)	(MPa)
Grupo A		
Cedar, western red	6,000	41,4
Cedar, yellow	7,400	51,0
Pine, ponderosa	6,000	41,4
Pine, jack	6,600	45,5
Pine, lodgepole	6,600	45,5
Pine, red	6,600	45,5
Douglas-fir (interior north)	8,000	55,2
Grupo B		
Douglas-fir, coast	8,000	55,2
larch, western	8,400	57,9
Grupo C		
Southern Pine	8,000	55,2

A Tabela 6.5, lista 15 classe de postes e suas capacidades de carga requeridas, comprimento e circunferência mínima na ponta, (WOLFE; MOODY, 1997).

TABELA 6.5 – Classificação dos postes de madeira pela ANSI 05.1 - (WOLFE, MOODY, 1997)

Classe	Carga horizontal		Comprimento		Circunferência mínima da ponta	
	(lb.)	(kgf)	(ft)	(m)	(in.)	(cm)
H5	10,000	22.026	45-125	13,7-38,1	37	94,0
H4	8,700	19.163	40-125	12,2-38,1	35	88,9
H3	7,500	16.520	40-125	12,2-38,1	33	83,8
H2	6,400	14.097	35-125	10,7-38,1	31	78,7
H1	5,400	11.894	35-125	10,7-38,1	29	73,7
1	4,500	9.912	35-125	10,7-38,1	27	68,6
2	3,700	8.150	20-125	6,1-38,1	25	63,5
3	3,000	6.607	20-90	6,1-27,4	23	58,4
4	2,400	5.286	20-70	6,1-21,3	21	53,3
5	1,900	4.185	20-50	6,1-15,2	19	48,3
6	1,500	3.304	20-45	6,1-13,7	17	43,2
7	1,200	2.643	20-35	6,1-10,7	15	38,1
9	740	1.630	20-30	6,1-9,1	15	38,1
10	370	815	20-25	6,1-7,6	12	30,4

Em 1972, seis novas classes foram adicionadas à ANSI O5.1, sendo estas designadas como classes-H, usadas para suportar linhas de transmissão de alta voltagem. Divido a natureza geral das cargas e localização requeridas, os postes de transmissão devem ser mais rigorosos que os de distribuição, (WOLFE, 2005)

Verifica-se a através destes relatos, a possibilidade de inclusão de outras espécies na atual norma de especificações de postes de madeira, visto que esta até o momento apenas contempla o gênero *Eucaliptus*.

Não se deseja através destas considerações a inclusão e a adoção imediata do gênero *Pinus* ou de qualquer outro gênero no corpo da norma de especificações de postes de madeira. O que se deseja é apenas ressaltar a possibilidade da utilização de novas espécies, vislumbrando a realização de um estudo mais detalhado, sendo que tal deveria até mesmo avaliar as necessidades reais de um poste de madeira, não tendo apenas como referência os parâmetros adotados através do gênero *Eucaliptus*.

7 MODELOS DE ATAQUE E APODRECIMENTO

Para se evitar a subjetividade na avaliação das condições climáticas (umidade e temperatura) de uma dada região ou entre regiões distintas, alguns modelos foram propostos considerando variáveis.

Scheffer (1971) propõe o *Climate Index CI* - (Índice Climático) para o estimativo potencial de apodrecimento em estruturas de madeira acima do solo, sendo:

$$CI = \frac{\sum_{\text{jan}}^{\text{dez}} [(T - 35) \cdot (D - 3)]}{30} \quad (7.1)$$

Onde,

T: temperatura média mensal (°F);

D: número médio de dias do mês com precipitação maior que 0,25 mm;

Valores de *CI* menores que 35 indicam condições menos favoráveis ao apodrecimento, Figura 7.1. Valores entre 35 e 65 indicam condições intermediárias, e *CI* maiores que 65 indicam condições mais propícias ao apodrecimento.

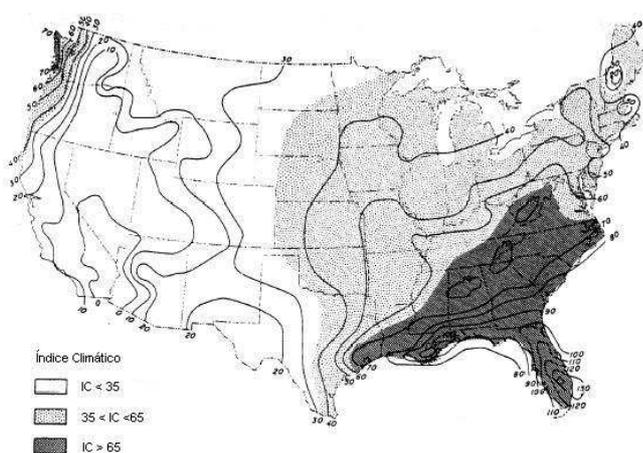


FIGURA 7.1 – Mapa do Índice Climático dos EUA – (SCHEFFER, 1971)

O mapa é utilizado como guia geral, e a fórmula como um guia específico para precauções no projeto ou para o tratamento preservativo necessário de estruturas de madeira acima do solo exposta ao tempo, (SCHEFFER, 1971).

Utilizando-se os dados de temperatura (*T*) em graus Celsius (°C), a Eq. 7.1 é modificada para:

$$CI = \frac{\sum_{\text{jan}}^{\text{dez}} [(T - 2) \cdot (D - 3)]}{16,7} \quad (7.2)$$

Alterando o nome de “CI” para “PAF” – Potencial de Ataque Fúngico, Silva et al. (2001) utilizaram os dados de normais climatológicas, do período entre 1961 e 1990, e elaborou um mapa para o Brasil, Figura 7.2.

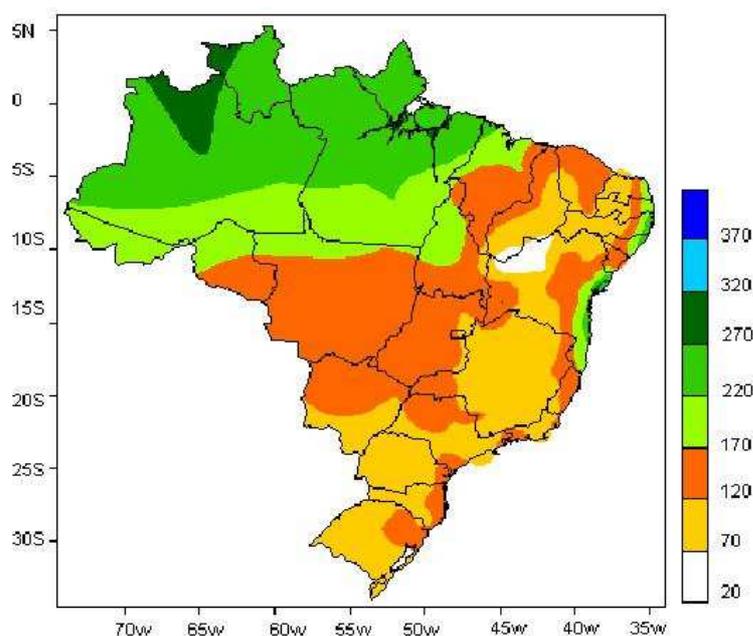


FIGURA 7.2 – Potencial de Ataque Fúngico – (SILVA et al., 2001)

Pelo mapa elaborado por Silva et al. (2001) verifica-se que a região de maior agressividade à madeira em função de ataque fúngico, é a região norte amazônica, com valores de PAF entre 220 e 320. Esta região concentra-se entre as latitudes¹ aproximadas 5° N e 10° S, e as longitudes² 45° W e 70° W. Além desta região, existe uma estreita faixa do litoral nordestino há com grande agressividade à madeira.

Para valores de PAF entre 120 a 170, existe uma grande área concentrada no centro-oeste, entre as latitudes aproximadas 10° S e 20° S, e as longitudes 45° W e 65°W, abrangendo a região do triângulo mineiro (Uberaba e Uberlândia) e o noroeste paulista (Catanduva, São José do Rio Preto, Votuporanga e Araçatuba).

¹ Latitude: A latitude mede-se para norte e para sul do equador, entre 90° sul, no Pólo Sul (latitude negativa), e 90° norte, no Pólo Norte (latitude positiva);

² Longitude: descreve a localização de um lugar na Terra medido em graus de 0° a 180° para leste ou para oeste a partir do primeiro meridiano: *Greenwich*;

Para valores de PAF entre 70 e 120, estende-se uma longa faixa não muito definida, desde o Estado do Rio Grande do Sul até ao Rio Grande do Norte.

Segundo o estudo de Silva et al. (2001) a região de menor agressividade à madeira por ataque fúngico é a divisa entre os Estados da Bahia e Piauí, com valores de PAF entre 20 a 70.

Avaliando que a escala utilizada por Silva et al. (2001) tem seu limite em aproximadamente PAF acima de 370. Entretanto os índices apresentados para o território brasileiro estão abaixo de PF igual a 320. E, além disso, a maior parte do território possui um PAF inferior a 170, valor um pouco acima da metade do PAF máximo no Brasil.

Fica visível que dentro do território nacional existem três grandes regiões de agressividade à madeira: a região amazônica, a região centro-oeste e a faixa que se estende irregularmente entre os Estados do Sul, Sudeste e Nordeste.

Além disso, pode-se verificar pelo estudo, que dentro do Estado de São Paulo, existem duas faixas de agressividade fúngica para PAF; valores entre 70 a 120, e de 120 a 170. Esta segunda concentrando-se no noroeste paulista.

Leicester et al. (2003) propõem um modelo para o apodrecimento de peças em contato com o solo, baseado em pequenas estacas monitoradas por mais de 30 anos na Austrália, Figura 7.3.

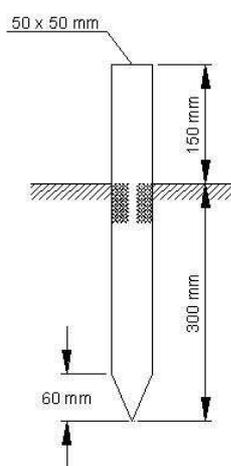


FIGURA 7.3 – Estacas em contato com o solo – (Leicester et al., 2003)

Tal modelo considera que existe um tempo (Lag^3) para o início do processo de apodrecimento, o qual após o início evolui em uma velocidade de apodrecimento (razão “r”) constante, podendo ocorrer um novo tempo inicial e estacionamento do apodrecimento com realização de manutenção, Figura 7.4.

³Lag: defasagem, tempo inicial;

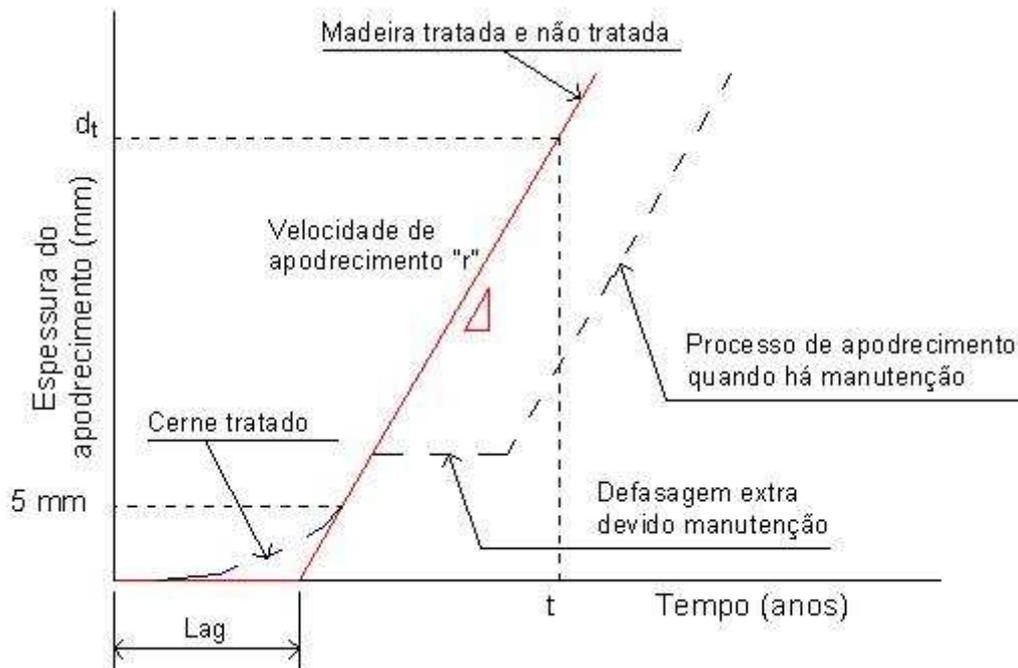


FIGURA 7.4 - Relação de apodrecimento idealizada – (LEICESTER et al., 2003)

A partir dos dados obtidos no estudo, foi desenvolvido um modelo matemático para o apodrecimento de madeiras em contato com o solo, determinando o Índice Climático I_{ig} , através das funções $f(R_{média})$ e $g(T_{média})$, as quais são dependentes da Precipitação Média Anual - $R_{média}$ e da Temperatura Média Anual - $T_{média}$, respectivamente.

$$I_{ig} = f(R_{média})^{0,3} \times g(T_{média})^{0,2} \quad (7.3)$$

$$f(R_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } R_{média} \leq 250 \text{ mm ou } N_{dm} > 6 \\ f_0(R_{média}) \cdot \left(1 - \frac{N_{dm}}{6}\right), & \text{Se } R_{média} > 250 \text{ mm e } 0 \leq N_{dm} \leq 6 \end{cases} \quad (7.4)$$

$$f_0(R_{média}) = 10 \times [1 - e^{-0,001(R_{média}-250)}] \quad (7.5)$$

$$g(T_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } T_{média} \leq 5^\circ\text{C} \\ -1 + 0,2 \times T_{média}, & \text{Se } 5^\circ\text{C} < T_{média} \leq 20^\circ\text{C} \\ -25 + 1,4 \times T_{média}, & \text{Se } T_{média} > 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (7.6)$$

Sendo N_{dm} o número de meses secos por ano, definido como mês seco aquele no qual a precipitação média é menor ou igual a 5 mm.

Para o agrupamento e representação dos valores do Índice Climático, Leicester et. al. (2003) adota a classificação conforme a Tabela 7.1. Tais classes visam agrupar regiões

geográficas em função dos valores de I_{ig} , sendo estas classificadas segundo os valores limites de I_{ig} , e representados pelos valores representativos de I_{ig} da respectiva classe.

TABELA 7.1 – Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade

Região de geográfica	I_{ig} Representativo	I_{ig} Limite
A	0,5	1,0
B	1,5	2,0
C	2,5	2,5
D	3,0	

A Figura 26 mostra a variação de $f_0(R_{média})$ e $g(T_{média})$ em função de suas respectivas variáveis, Precipitação Média Anual ($R_{média}$) e Temperatura Média Anual ($T_{média}$).

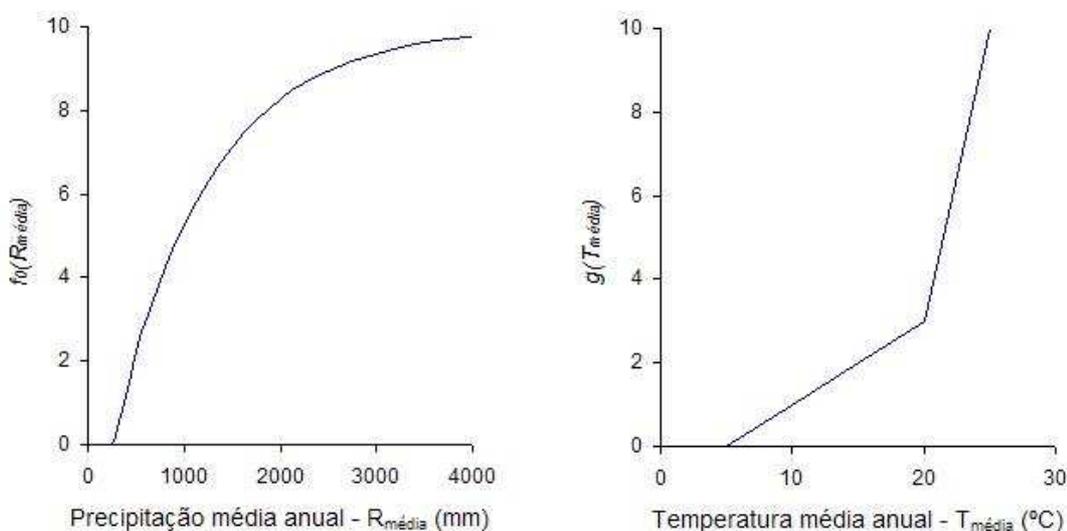


FIGURA 7.5 – Funções $f_0(R_{média})$ e $g(T_{média})$ – (LEICESTER et al., 2003)

Quanto a influência dos tipos de madeira presentes em um peça, Leicester et al. (2003), assumem o esquema proposto pela Figura 7.6, onde são mostrados esquematicamente as velocidades de apodrecimento para os tipos de madeira.

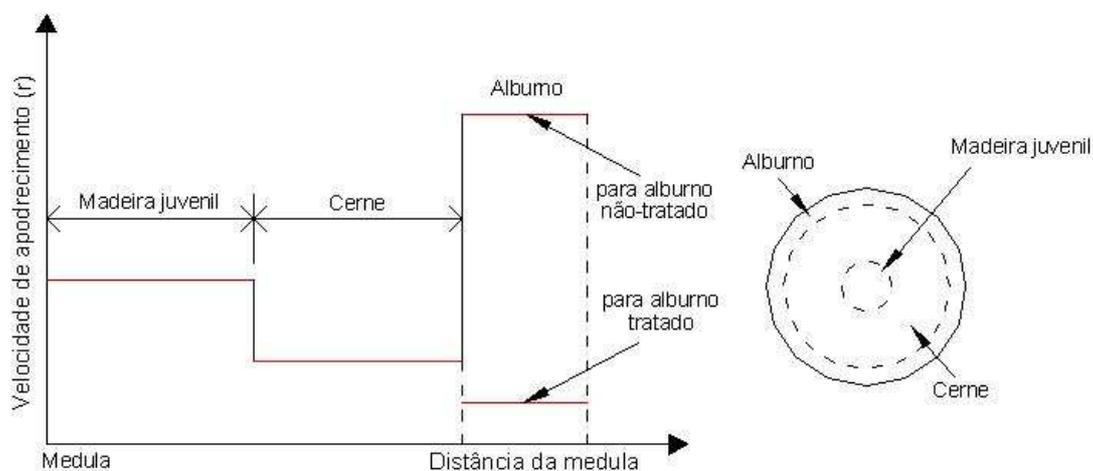


FIGURA 7.6 – Esquema ilustrativo da razão de apodrecimento relativo de diferentes tipos de madeira – ADAPTADO de (LEICESTER et al., 2003)

Para a determinação do tempo inicial para a instalação do processo de apodrecimento (Lag) e da Velocidade de apodrecimento (r), são adotadas as seguintes Equações:

- **Cerne**

$$r_{nt,cer,estaca} = A \cdot I_{ig} \quad (7.7)$$

TABELA 7.2 – Parâmetros de apodrecimento para cerne não tratado – (LEICESTER et al., 2003)

Classe de durabilidade*	A	Tempo inicial
		$Lag_{nt,cerne,estaca}$ (anos)
Classe 1	0,20	6
Classe 2	0,55	4
Classe 3	0,80	2
Classe 4	1,85	1

(*) Ver Tabela 3.18

- **Madeira juvenil**

$$Lag_{nt,juv,estaca} = 0,3 \cdot Lag_{nt,cer,estaca} \quad (7.8)$$

$$r_{nt,juv,estaca} = 3 \cdot r_{nt,cer,estaca} \quad (7.9)$$

- **Alburno**

$$Lag_{nt,alb,estaca} = 0,5 \cdot Lag_{nt,cer,c4,estaca} \quad (7.10)$$

$$r_{nt,alb,estaca} = 2 \cdot r_{nt,cer,c4,estaca} \quad (7.11)$$

Sendo

$Lag_{nt,cerne,c4,estaca}$: o tempo de tempo inicial de apodrecimento para cerne espécie de durabilidade classe 4;

$r_{nt,cerne,c4,estaca}$: razão de apodrecimento para cerne de espécie de durabilidade classe 4;

- **Madeira tratada**

Considerando a preservação em CCA, utiliza-se a concentração deste em percentual de massa (kg/kg)

$$Lag_{tr,alb,estaca} = \text{Max}\{Lag_{nt,alb,estaca} ; 8 \cdot C_{CCA}\} \quad (7.12)$$

$$r_{tr,alb,estaca} = \frac{r_{nt,alb,estaca}}{1 + B \cdot C_{CCA}}, \quad B = \begin{cases} 80 & \text{para softwoods} \\ 15 & \text{para hardwoods} \end{cases} \quad (7.13)$$

Caso o produto preservativo seja o creosoto adota-se a Eq.7.15, sendo $C_{creosoto}$ a retenção de creosoto (em % kg/kg) e $C_{CCA-equiv}$ a concentração equivalente de creosoto em CCA.

$$C_{CCA-equiv} = 0,018 \cdot C_{creosoto} \quad (7.14)$$

Considerando os postes de madeira, Leicester et al. (2003) assumem que apenas o alburno pode ser tratado com preservativos, enquanto que o cerne permanece não tratado, e através de observações de campo consideram que o apodrecimento pode iniciar tanto do perímetro para o centro e vice-versa. Assim são propostos dois modelos para o apodrecimento:

a) Apodrecimento em direção ao interior

Para alburno de postes tratados de *softwoods* e *hardwoods*, com um acréscimo de 15 anos no tempo para início do apodrecimento.

$$Lag_{tr,alb,poste} = Lag_{tr,alb,estaca} + 15 \quad (7.15)$$

$$r_{tr,alb,poste} = r_{tr,alb,estaca} \quad (7.16)$$

Para alburno não-tratado

$$Lag_{nt,alb,poste} = Lag_{nt,alb,estaca} \quad (7.17)$$

$$r_{nt,alb,poste} = r_{nt,alb,estaca} \quad (7.18)$$

Para o cerne

$$\text{Lag}_{nt,cer,poste} = \text{Lag}_{nt,cer,estaca} \quad (7.19)$$

$$r_{nt,cer,poste} = r_{tr,cer,estaca} \quad (7.20)$$

b) Apodrecimento em direção ao exterior

O tempo de início do apodrecimento, Eq. 7.21 é admitido ser quatro vezes maior do que as estacas, devido à madeira juvenil não estar em contato direto com o solo, e a velocidade de apodrecimento é maior para postes não tratados, Eq. 7.22.

$$\text{Lag}_{nt,juv,poste} = \begin{cases} 4 \cdot \text{Lag}_{nt,juv,estaca}, & \text{postes não - tratados;} \\ 4 \cdot \text{Lag}_{nt,juv,estaca} + 10 \cdot C_{CCA}, & \text{postes hardwoods tratados;} \\ 4 \cdot \text{Lag}_{nt,juv,estaca} + 25 \cdot C_{CCA}, & \text{postes softwoods tratados;} \end{cases} \quad (7.21)$$

$$r_{nt,juv,poste} = \begin{cases} 1,5 \cdot r_{nt,juv,estaca}, & \text{postes não - tratados;} \\ r_{nt,juv,estaca}, & \text{postes tratados;} \end{cases} \quad (7.22)$$

7.1 O progresso da deterioração

Através do modelo proposto, Leicester et al. (2003) indicam a existência de sete formas de progresso de apodrecimento de postes, em função do tipo de madeira (*hardwood* ou *softwood*), poste tratado ou não-tratado, e início do apodrecimento (interno ou externo). As Figuras 7.7 a 7.13 mostram esquemas de progresso do apodrecimento em função do tempo.

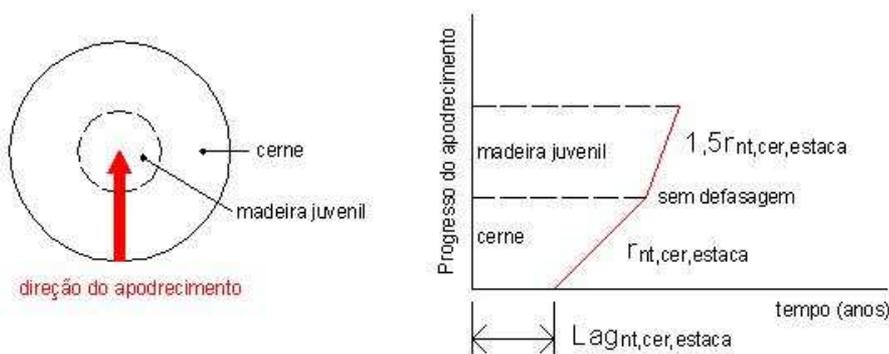


FIGURA 7.7 – Progresso do apodrecimento externo para postes não-tratados sem albano – (LEICESTER et al.,2003)

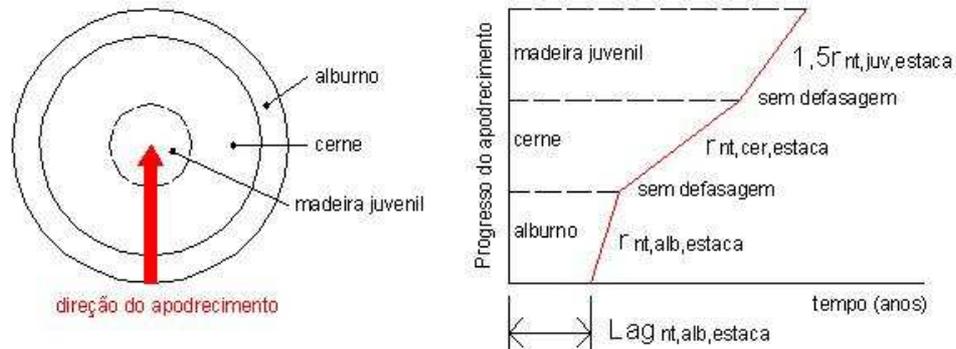


FIGURA 7.8 – Progresso do apodrecimento externo para postes não-tratado com alburno – (LEICESTER et al.,2003)

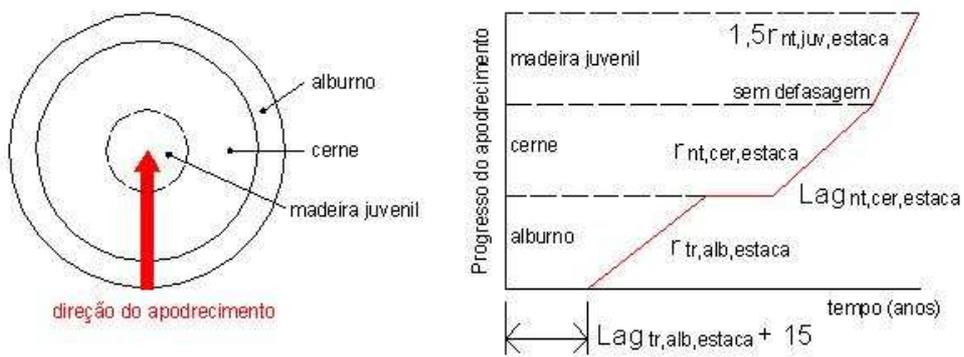


FIGURA 7.9 – Progresso do apodrecimento externo para postes tratado com alburno – (LEICESTER et al.,2003)

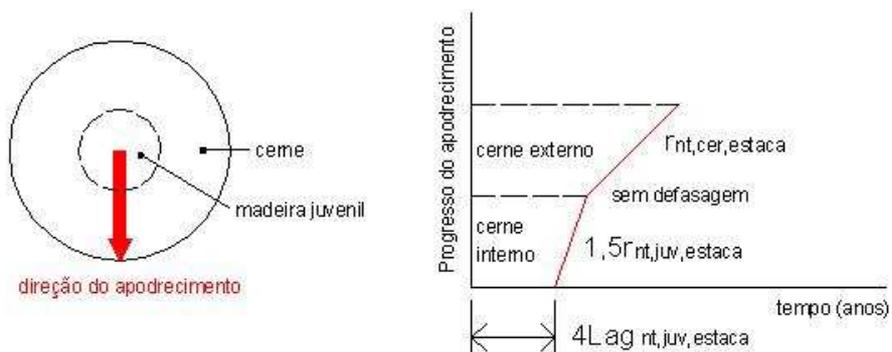


FIGURA 7.10 – Progresso do apodrecimento interno para postes não-tratados sem alburno – (LEICESTER et al.,2003)

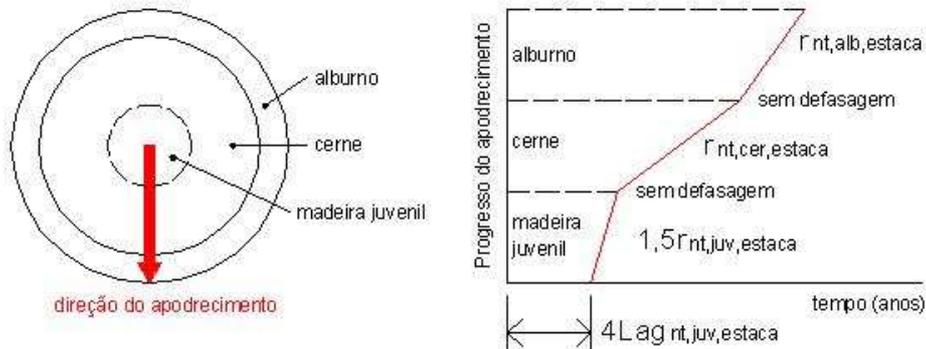


FIGURA 7.11 – Progresso do apodrecimento externo para postes tratados com alburno – (LEICESTER et al.,2003)

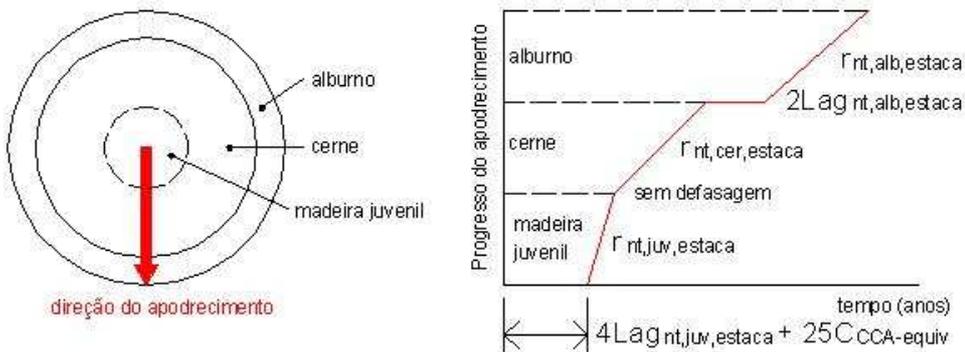


FIGURA 7.12 – Progresso do apodrecimento externo para postes tratados de softwood – (LEICESTER et al.,2003)



FIGURA 7.13 – Progresso do apodrecimento externo para postes tratados de hardwood – (LEICESTER et al.,2003)

8 APLICAÇÃO DO MODELO DE APODRECIMENTO ÀS CIDADES DO ESTADO DE SÃO PAULO

Utilizando os dados climáticos de diversas cidades do Estado de São Paulo, neste capítulo é mostrada a aplicação do modelo de apodrecimento de madeira em contato com o solo, proposto por (LEICESTER et. al., 2003).

8.1 O clima do Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo está localizado aproximadamente entre as longitudes 44°W e 53°W, e latitudes 20°S e 25°S, estando uma pequena parte abaixo do Trópico de Capricórnio (23°27'09''S), assim a maior parte do Estado de São Paulo está localizada em região tropical, Figura 8.1.

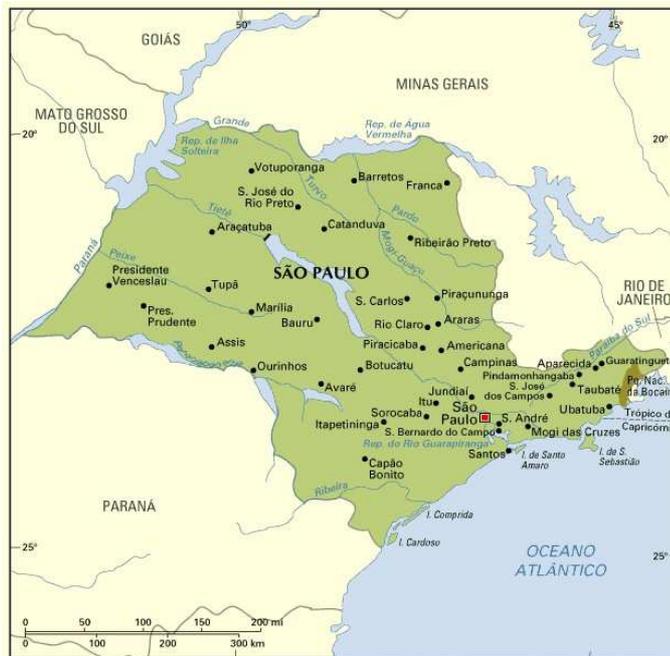


FIGURA 8.1 – Localização do Estado de São Paulo

Devido ao Estado de São Paulo estar em grande parte nas áreas montanhosas de altitude, onde as chuvas se mostram bastante amenas, pode ser classificado como tropical de altitude, sendo as chuvas geralmente abundantes, sobretudo na estação estiva, tornando o clima tropical úmido, (PAES DE CAMARGO et al., 2007).

Segundo a classificação climática de *Koepen*, o Estado de São Paulo abrange seis tipos climáticos distintos, todos correspondentes a climas úmidos. O tipo que corresponde a maior área é o Cwa, sendo toda a parte central do planalto caracterizada pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente. Algumas áreas serranas, com o verão ameno, nela encravadas, são classificadas no tipo Cwb, (PAES DE CAMARGO et al., 2007).

As regiões mais baixas, à noroeste, situadas nas proximidades dos rios Paraná e Grande, mais quentes, pertencem ao tipo Aw, tropical chuvoso com inverso seco. Ao sul do planalto, às margens do rio Paranapanema, e do vale do rio Ribeira de Iguapé, aparecem faixas de clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno, do tipo Cfa. As áreas serranas, mais altas, das serras do Mar e da Mantiqueira, com verão ameno e estações chuvosas o ano todo, tem o clima classificado como CFb. Finalmente, a faixa litorânea recebe a classificação Af, caracterizada pelo clima tropical chuvoso sem estação seca, (PAES DE CAMARGO et al., 2007).

8.2 Dados climatológicos e I_{ig}

Utilizando dados climatológicos fornecidos pelo IAC – Instituto Agrônomo de Campinas¹, Anexo G, será calculado os Índices Climáticos - I_{ig} , segundo o modelo proposto por (LEICESTER et al., 2003).

Para que não fossem obtidos valores pouco representativos, em função de variações anuais do clima, para a determinação do I_{ig} foram desconsideradas para as estações climatológicas que possuem um período de leitura menor que 5 anos, até o momento da obtenção dos dados.

A Tabela 8.1 mostra os valores de temperatura média, precipitação anual e meses secos anuais. Utilizando as Eq. 7.3 à 7.7 determinou-se os valores de I_{ig} os quais são indicados na mesma tabela.

¹ Órgão pertencente à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

TABELA 8.1 – Dados climatológicos e I_{ig}

Ident.	Cidade	T _{média} (°C)	Prec. anual (mm)	N _{dm} (meses secos)	I_{ig}
1	Adamantina	24,2	1262	0,92	2,57
2	Andradina	24,6	1288	1,20	2,56
3	Araçatuba	24,6	1424	1,11	2,63
4	Assis	22,0	1452	0,58	2,47
5	Auriflama	24,5	1278	1,33	2,53
6	Barretos	24,7	1510	1,75	2,56
7	Bauru	23,8	1373	1,00	2,56
8	Bebedouro	23,8	1395	1,36	2,51
9	Botucatu	21,5	1431	0,91	2,36
10	Bragança Paulista	20,6	1339	0,60	2,24
11	Buritama	24,2	1174	1,00	2,51
12	Campinas	22,2	1456	0,92	2,45
13	Campos do Jordão	15,1	1726	0,80	2,04
14	Cananeia	22,4	2079	0,00	2,74
15	Candido Mota	21,6	1437	0,83	2,38
16	Capão Bonito	20,1	1364	0,55	2,16
17	Capivari	21,9	1167	1,00	2,29
18	Casa Branca	22,1	1580	1,78	2,34
19	Catanduva	24,1	1210	1,88	2,38
20	Echaporã - Fazenda Barion	22,8	1165	0,60	2,44
21	Eldorado	23,1	1409	0,80	2,54
22	Franca	22,1	1528	1,83	2,32
23	Guaira	23,9	1644	1,60	2,56
24	Ibiporã	22,9	1375	0,67	2,53
25	Ibirarema	22,4	1358	0,67	2,47
26	Ibiuna	19,3	1254	0,50	2,09
27	Iepê	22,0	1299	0,40	2,44
28	Ilha Solteira	25,0	1204	1,25	2,55
29	Ipaussu	21,8	1485	0,67	2,44
30	Itapetininga	21,1	1338	0,50	2,33
31	Itapeva	21,3	1605	0,30	2,46
32	Itararé	17,3	1700	0,25	2,18
33	Itararé - Delegacia Agricola	21,9	1644	0,25	2,56
34	Itatiba	20,6	1488	0,60	2,28

CONTINUA

Ident.	Cidade	T _{média} (°C)	Prec. anual (mm)	N _{dm} (meses secos)	I _{ig}
CONTINUAÇÃO					
35	Jaboticabal	23,3	1395	1,33	2,48
36	Jales	24,4	1324	1,55	2,51
37	Jaú	22,6	1486	1,00	2,49
38	José Bonifácio	24,4	1326	1,45	2,52
39	Jundiá	21,3	1457	0,82	2,35
40	Limeira	21,7	1423	1,20	2,34
41	Lins	24,4	1387	1,20	2,59
42	Manduri	21,4	1528	0,50	2,43
43	Maraci	23,1	1440	0,50	2,60
44	Marília	23,3	1515	0,67	2,62
45	Matão	23,5	1329	1,00	2,52
46	Miracatu	23,1	1414	0,00	2,66
47	Mirandópolis	25,3	1268	0,78	2,67
48	Mirante do Paranapanema	23,5	1368	0,80	2,57
49	Mococa	22,9	1544	1,25	2,50
50	Monte Alegre	20,8	1589	0,83	2,31
51	Oswaldo Cruz	25,7	1359	0,80	2,74
52	Ourinhos	23,2	1437	0,50	2,61
53	Palmital	22,8	1472	0,33	2,60
54	Paraesópolis	22,8	1306	0,67	2,49
55	Paraguaçu Paulista - Cocal	23,3	1554	0,67	2,63
56	Paraguaçu Paulista - Horto	23,2	1350	0,83	2,53
57	Pariquera-Açu	22,2	1739	0,00	2,65
58	Paulínia	22,6	1478	0,73	2,53
59	Pedrinhas Paulista	23,4	1688	0,50	2,70
60	Penápolis	24,5	1421	1,11	2,62
61	Piçatu	24,2	1298	1,11	2,55
62	Piedade	19,6	1448	0,50	2,16
63	Pindamonhangaba	22,4	1305	0,50	2,48
64	Pindorama	23,1	1383	1,33	2,45
65	Piracaia	20,8	1526	0,60	2,33
66	Piracicaba	22,1	1413	0,92	2,42
67	Presidente Prudente	23,6	1431	0,75	2,61
68	Quatá	23,9	1413	0,83	2,61
69	Rancharia	24,0	1382	0,60	2,65

Ident.	Cidade	T _{média} (°C)	Prec. anual (mm)	N _{dm} (meses secos)	I _{ig}
CONTINUAÇÃO					
70	Rancharia - Casa da Agricultura	24,0	1346	1,00	2,57
71	Rancharia - Fazenda Bartira	23,7	1269	0,80	2,54
72	Registro	22,6	1709	0,00	2,69
73	Ribeirão Preto	22,9	1510	1,67	2,42
74	Santa Bárbara do Oeste	22,0	1255	1,00	2,34
75	Sta. Cruz do R. Pardo – Faz. Pardo Guacho	22,0	1362	0,50	2,45
76	Santa Maria da Serra	21,7	1354	0,60	2,40
77	Santos	22,9	2087	0,00	2,80
78	São Carlos	21,6	1443	1,17	2,34
79	São José das Laranjeiras	23,3	1543	0,40	2,66
80	São José do Rio Pardo	23,4	1650	0,67	2,67
81	São José do Rio Preto	25,0	1417	1,55	2,59
82	São Paulo	21,2	1544	0,38	2,42
83	São Pedro	20,3	1546	0,80	2,22
84	São Pedro do Turvo	22,7	1409	0,67	2,52
85	São Roque	20,0	1230	1,00	2,04
86	São Simão	23,3	1463	1,75	2,43
87	Sete Barras	23,1	1624	0,00	2,72
88	Sorocaba	22,2	1212	0,80	2,37
89	Sumaré	22,2	1217	1,40	2,29
90	Taquaritinga	21,5	1831	0,50	2,51
91	Tarumã	22,9	1427	0,67	2,55
92	Tatuí	21,7	1271	0,83	2,34
93	Taubaté	21,9	1285	0,38	2,43
94	Tietê	22,1	1216	0,92	2,35
95	Tupã	24,4	1299	1,00	2,58
96	Tupi Paulista	24,6	1345	1,27	2,58
97	Ubatuba	22,9	2514	0,00	2,85
98	Valinhos	22,2	1496	0,80	2,48
99	Valpariso	24,3	1331	1,22	2,55
100	Vargem	20,1	1341	0,75	2,13
101	Vargem Gde. do Sul - Assoc. dos Bataticultores	22,5	1443	1,60	2,37
102	Votuporanga	24,3	1331	1,10	2,57

A Tabela 8.2, mostra a estatística descritiva dos dados climatológicos das cidades estudadas.

TABELA 8.2 – Estatística dos dados climáticos

Estatística	Temperatura (°C)	Precipitação anual (mm)	N_{dm} – meses secos	I_{ig}
Média	22,6	1446	0,8	2,48
Mínimo	15,1	1165	0,0	2,04
Máximo	25,7	2514	1,9	2,85
Amplitude	10,6	1349	1,9	0,81

As Figuras 8.2 à 8.5 mostram as distribuições de frequência absoluta para os dados de temperatura, precipitação anual e meses secos, e valores de I_{ig} obtidos. Junto ao histograma é mostrada a curva de distribuição normal.

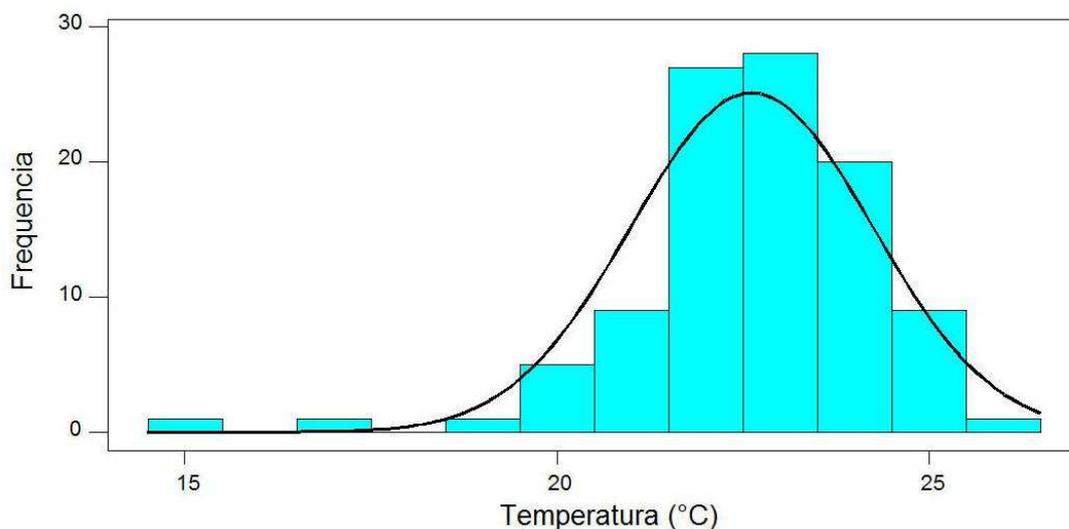


FIGURA 8.2 – Histograma de frequência absoluta das temperaturas médias para as cidades do Estado de São Paulo

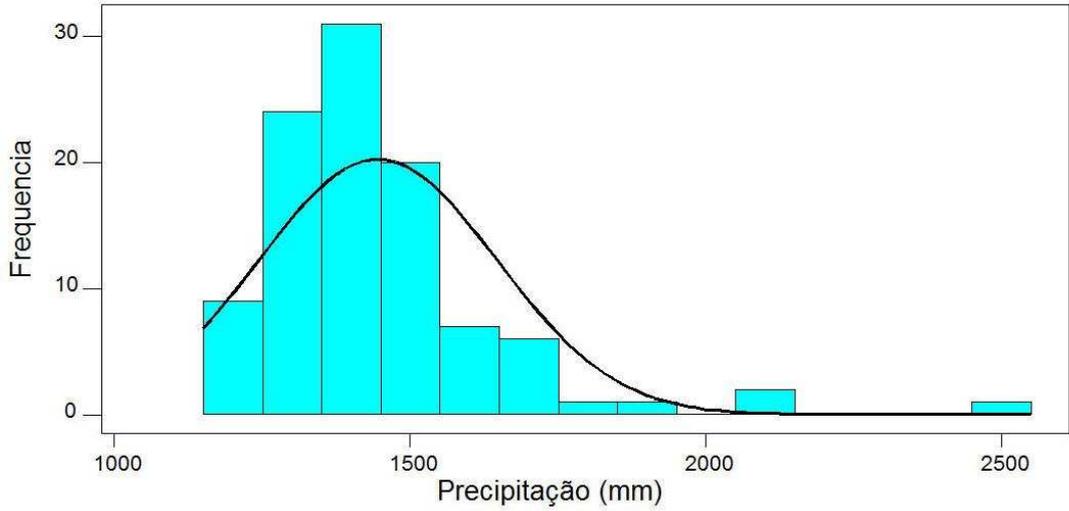


FIGURA 8.3 – Histograma de frequência absoluta das precipitações anuais para as cidades do Estado de São Paulo

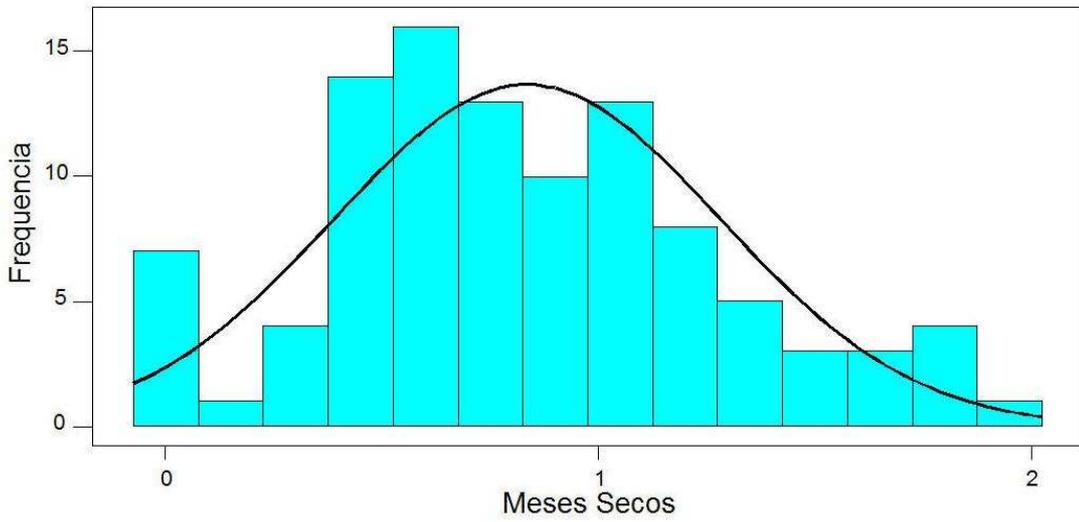


FIGURA 8.4 – Histograma de frequência absoluta dos meses secos para as cidades do Estado de São Paulo

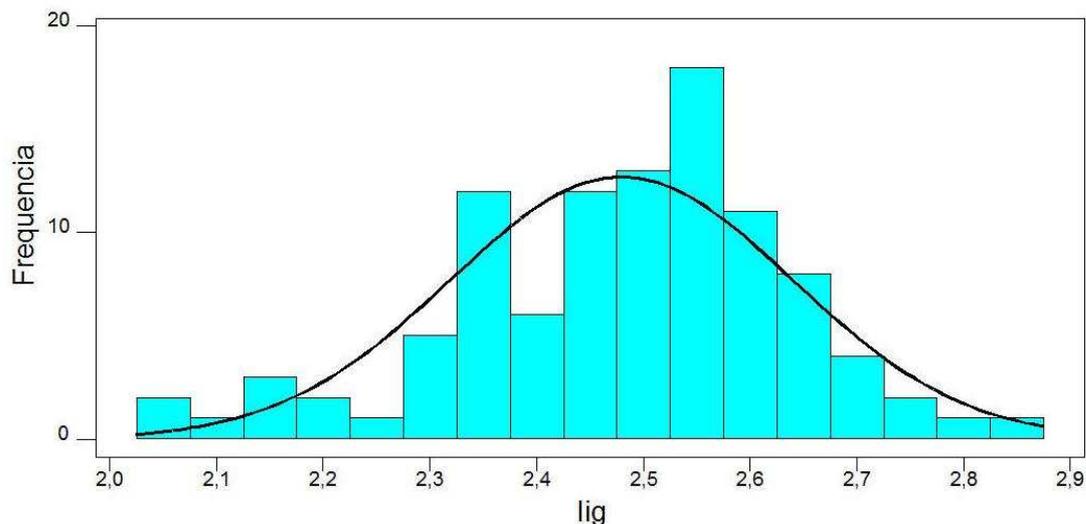


FIGURA 8.5 – Histograma de frequência absoluta dos Índices Climáticos I_{ig} para as cidades do Estado de São Paulo

Considerando as classes de agressividade propostas por Leicester et al. (2003), (ver Tabela 7.1) a Tabela 8.3 mostra a distribuição das cidades em relação a esta classificação.

TABELA 8.3 – Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade

Região de apodrecimento	I_{ig} Representativo	Numero de cidades
A	0,5	0
B	1,5	0
C	2,5	49
D	3,0	53

A Tabela 8.4 mostra a estatística descritiva para as variáveis das populações de $I_{ig < 2,50}$ e $I_{ig > 2,50}$.

TABELA 8.4 – Estatística descritiva para as variáveis das populações de I_{ig}

Estatística	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)		N_{dm} - meses secos	
	$I_{ig < 2,50}$	$I_{ig > 2,50}$	$I_{ig < 2,50}$	$I_{ig > 2,50}$	$I_{ig < 2,50}$	$I_{ig > 2,50}$
Média	21,5	23,6	1405	1483	0,87	0,80
Mínimo	15,1	21,5	1165	1174	0,25	0,00
Máximo	24,1	25,7	1726	2514	1,88	1,75

As Figuras 8.6 à 8.11 mostram os histogramas de frequência absoluta das variáveis temperatura, precipitação e meses secos para as populações de $I_{ig < 2,50}$ e $I_{ig > 2,50}$.

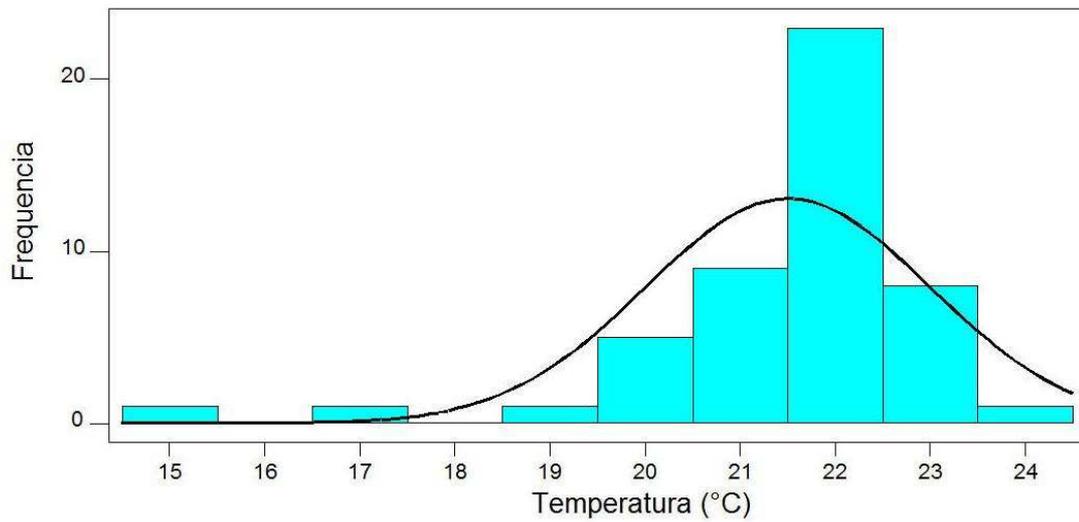


FIGURA 8.6 – Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig < 2,50}$

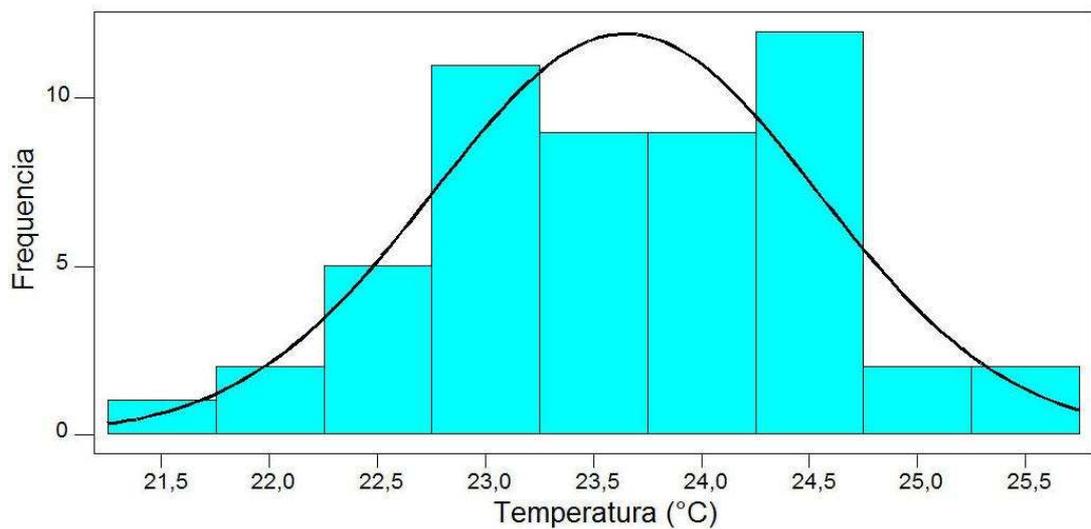


FIGURA 8.7 – Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig > 2,50}$

Os valores de temperaturas para a $I_{ig}<2,50$ estão distribuídos desde 15 °C à 24 °C, apresentando grande concentração entorno dos 22 °C já os valores para $I_{ig}>2,50$ distribuem-se de 21 °C à 25 °C.

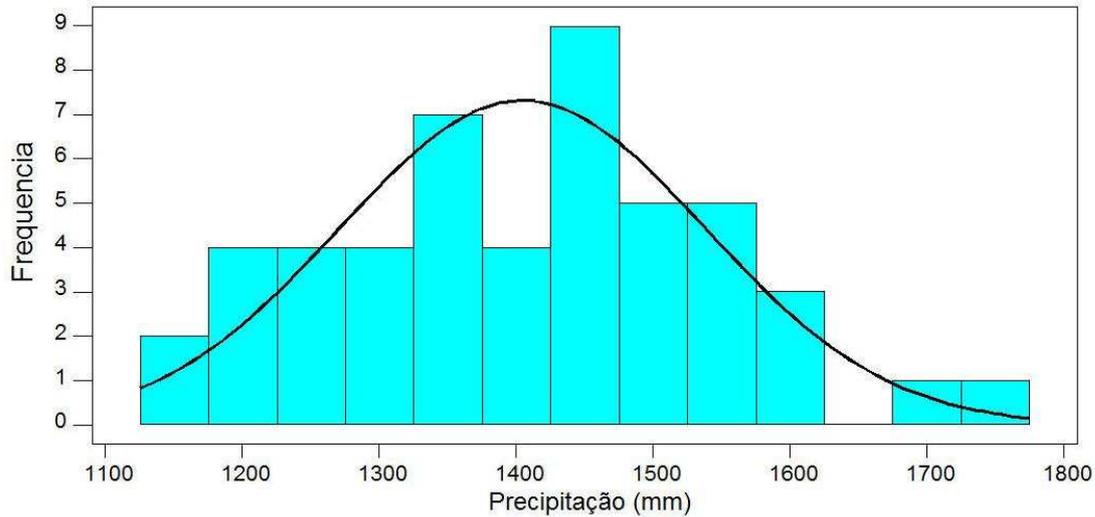


FIGURA 8.8 – Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig}<2,50$

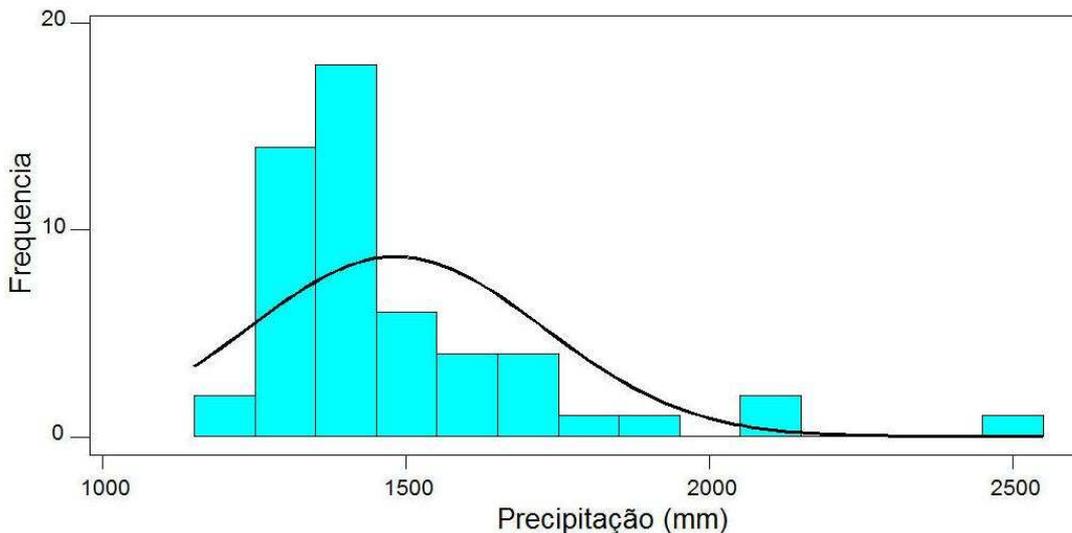


FIGURA 8.9 – Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig}>2,50$

Para a precipitação tanto para $I_{ig}<2,50$ bem como $I_{ig}>2,50$ iniciam valores próximos de 1100 mm de acumulado anual. Entretanto, para $I_{ig}<2,50$ os valores de precipitação ficam

abaixo de 1800 mm enquanto que para $I_{ig>2,50}$ os valores chegam a 2500 mm, apresentando uma maior concentração de valores próxima aos 1400 mm anuais.

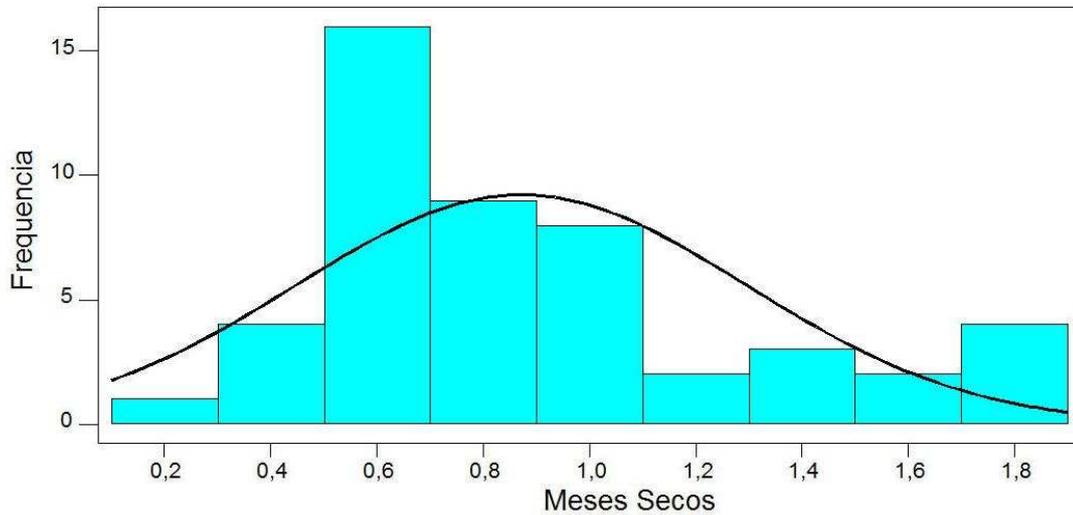


FIGURA 8.10 – Histograma de frequência absoluta dos meses secos para $I_{ig<2,50}$

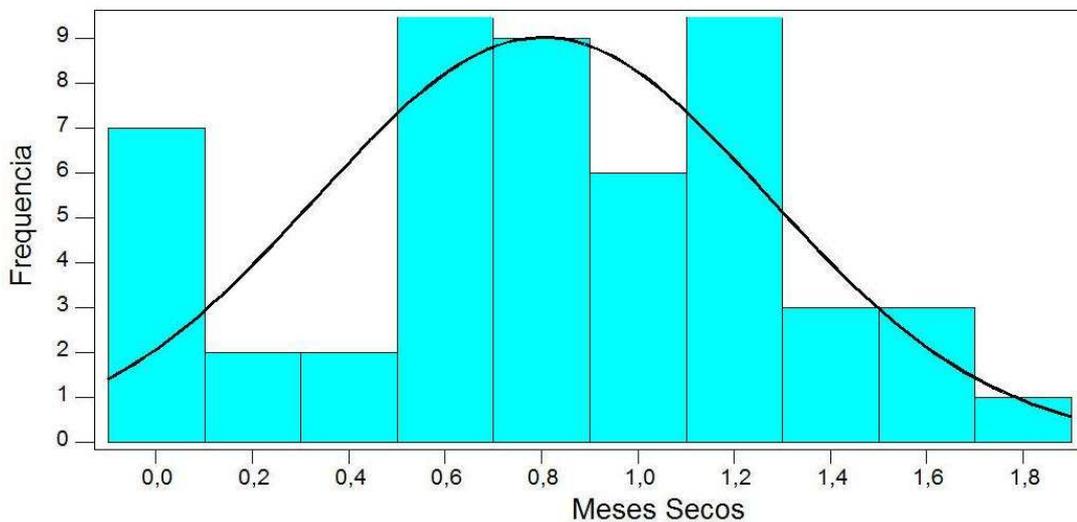


FIGURA 8.11 – Histograma de frequência absoluta dos meses secos para $I_{ig>2,50}$

Em relação aos meses secos ambas as populações possuem limite superior de 1,80, entretanto para $I_{ig<2,50}$ o limite inferior é 0,20 mm, enquanto que para $I_{ig>2,50}$ o limite inferior é zero meses secos.

8.3 Testes de Normalidade para as variáveis de I_{ig}

Utilizando o método Kolgomorov-Smirnov², realiza-se o teste de normalidade das variáveis temperatura, precipitação e meses secos, e também dos valores de I_{ig} , adotando-se $\alpha = 0,01$. A Tabela 8.5, mostra os valores obtidos no teste de normalidade.

TABELA 8.5 – Teste de normalidade variáveis de I_{ig}

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	102	0,161	0,084	Não Rejeitar
Precipitação	102	0,161	0,134	Não Rejeitar
Meses secos	102	0,161	0,074	Não Rejeitar
I_{ig}	102	0,161	0,070	Não Rejeitar

Pode-se observar que a hipótese H_0 de que os dados provém de uma distribuição normal, não devem ser rejeitada em nenhuma variável e até mesmo no valor do I_{ig} obtido. As Figuras 8.12 à 8.15, mostra a dispersão dos dados em torno da curva normal acumulada, do dados testados.

² Ver a descrição do teste de normalidade no normalidade no ANEXO I;

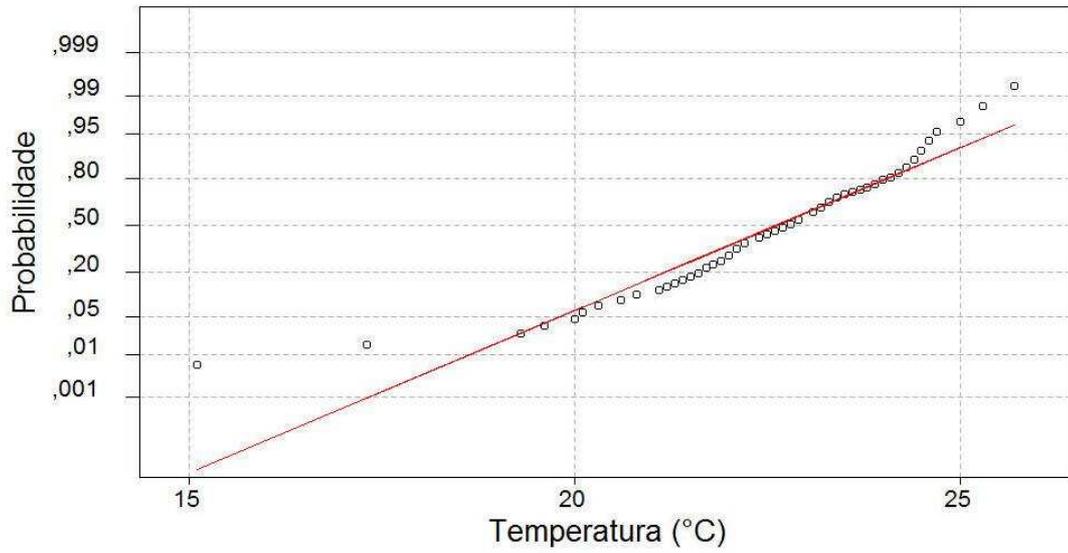


FIGURA 8.12 – Teste de normalidade para temperatura

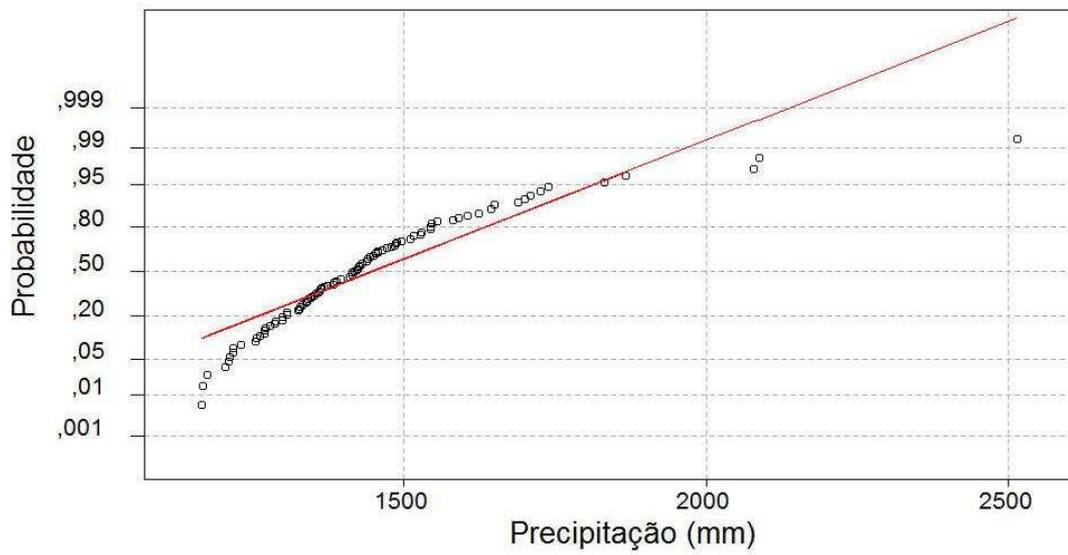


FIGURA 8.13 – Teste de normalidade para precipitação

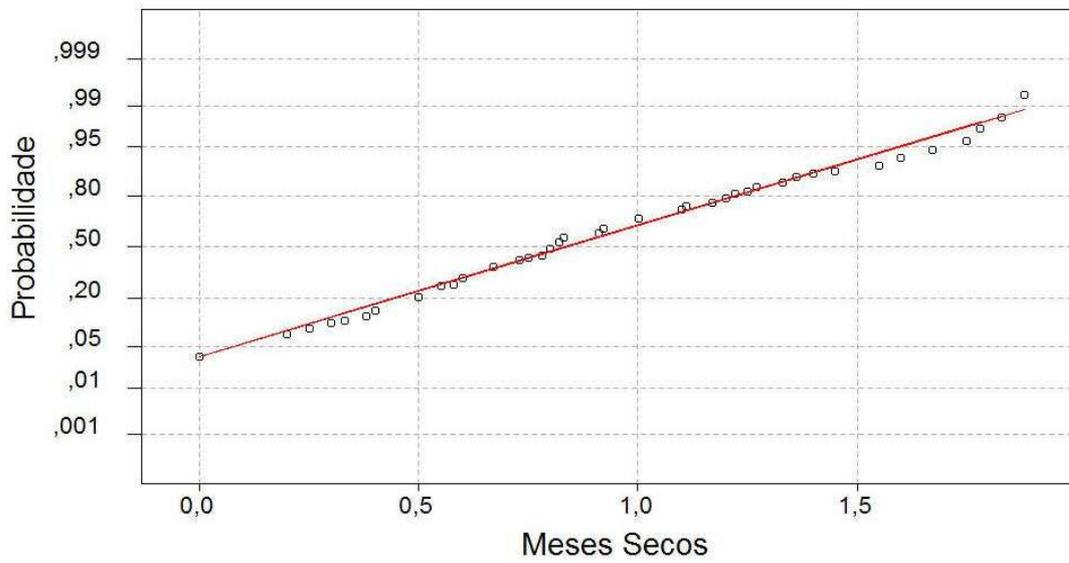


FIGURA 8.14 – Teste de normalidade para meses secos

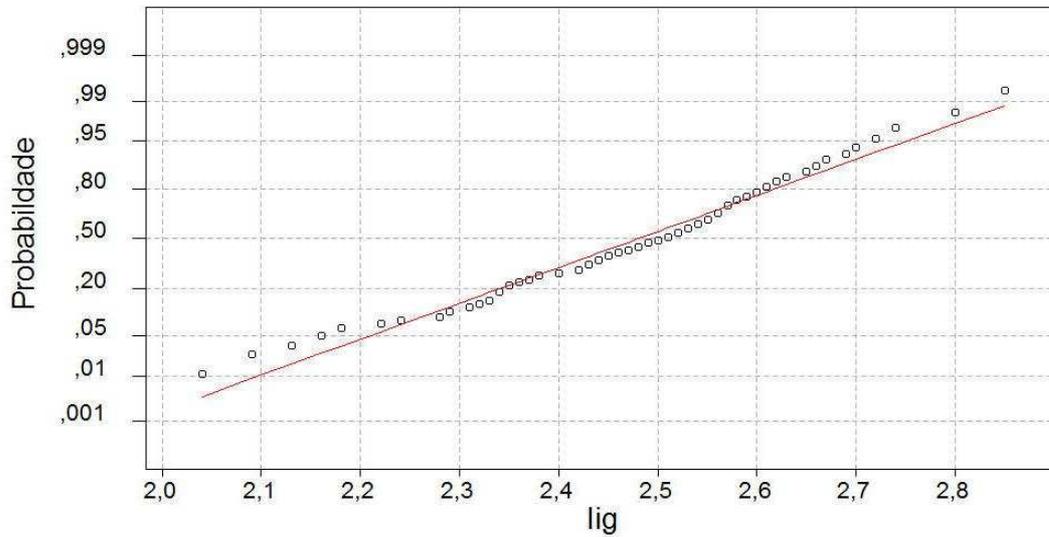


FIGURA 8.15 – Teste de normalidade para l_{ig}

Realiza-se também o teste de normalidade para as variáveis temperatura, precipitação e meses secos, para as populações de $l_{ig < 2,50}$ e $l_{ig > 2,50}$, adotando-se $\alpha = 0,01$. As Tabelas 8.6 e 8.7 mostram os valores obtidos no teste de normalidade.

TABELA 8.6 – Teste de normalidade variáveis de $I_{ig,simplificado < 2,50}$

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	49	0,230	0,175	Não Rejeitar
Precipitação	49	0,230	0,068	Não Rejeitar
Meses secos	49	0,230	0,131	Não Rejeitar

TABELA 8.7 – Teste de normalidade variáveis de $I_{ig,simplificado > 2,50}$

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	53	0,224	0,072	Não Rejeitar
Precipitação	53	0,224	0,212	Não Rejeitar
Meses secos	53	0,224	0,057	Não Rejeitar

Não se pode rejeitar a hipótese H_0 de que os dados provém de uma distribuição normal, o que de fato já foi validada esta hipótese ao se testar a normalidade dos dados destas variáveis em uma única população.

Realizou-se o teste de normalidade das populações de $I_{ig < 2,50}$ e $I_{ig > 2,50}$ das variáveis, apenas para se comprovar que ainda é possível tratar tais populações como provenientes de uma distribuição normal.

As Figuras 8.16 à 8.21, mostram os testes de normalidade, respectivamente.

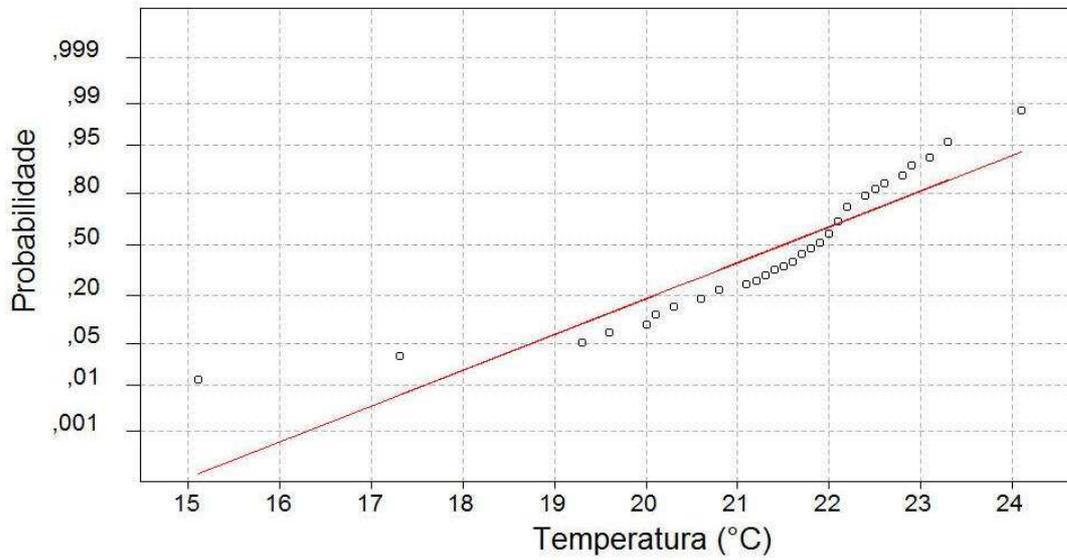


FIGURA 8.16 – Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig} < 2,50$

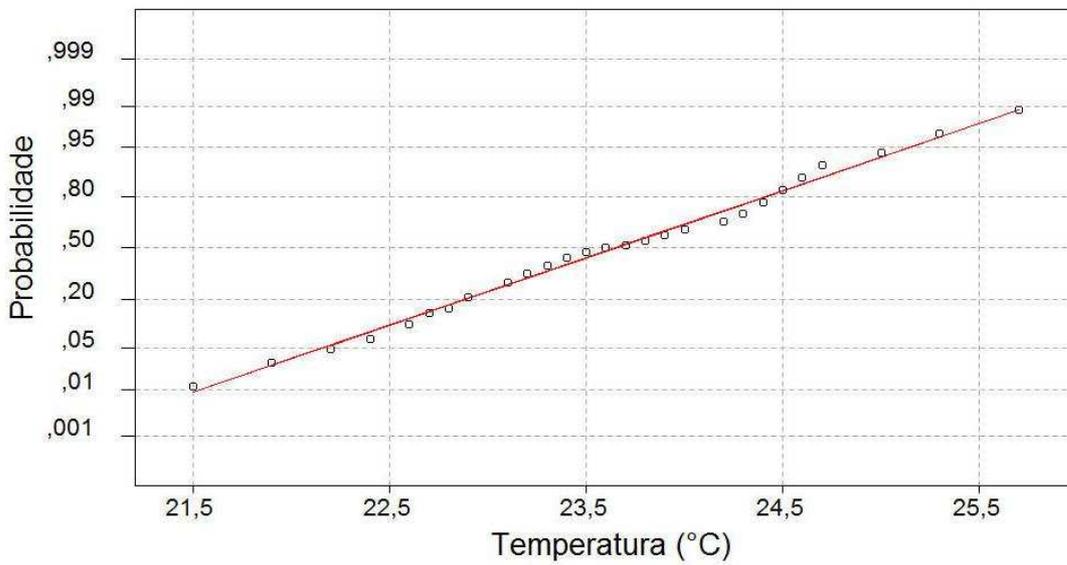


FIGURA 8.17 – Teste de normalidade para temperatura de $I_{ig} > 2,50$

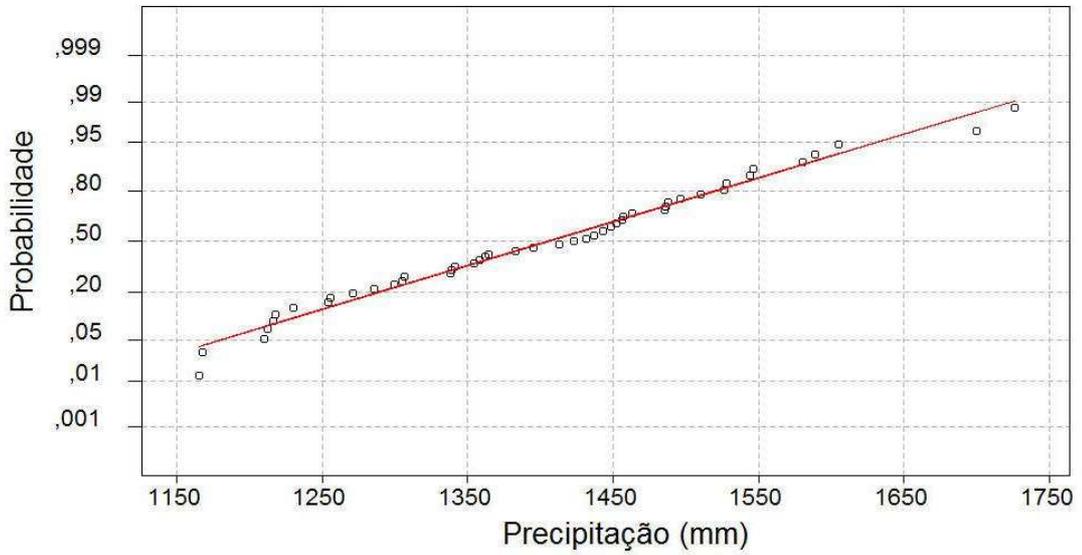


FIGURA 8.18 – Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig} < 2,50$

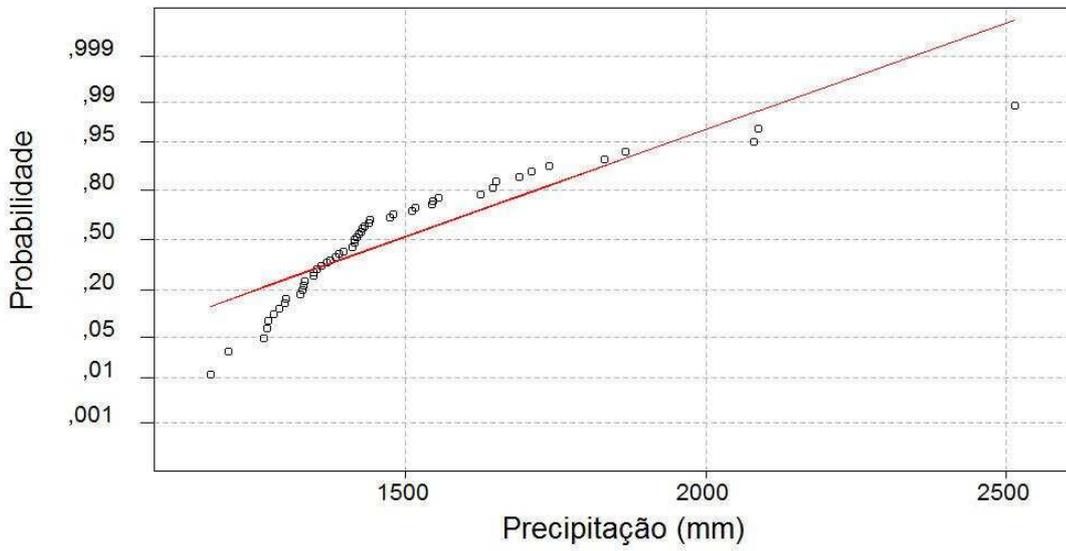


FIGURA 8.19 – Teste de normalidade para precipitação de $I_{ig} > 2,50$

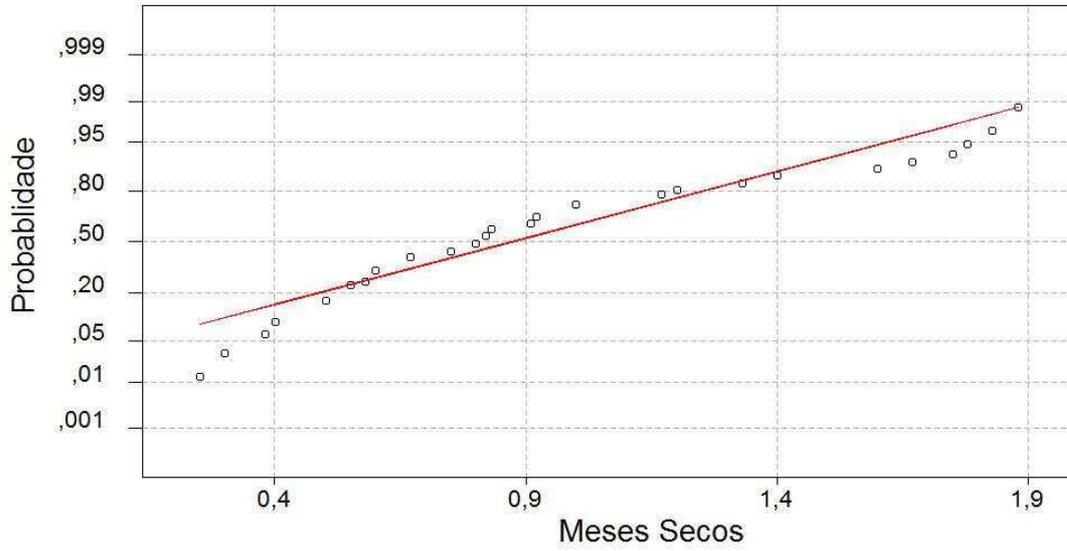


FIGURA 8.20 – Teste de normalidade para meses secos de $I_{ig} < 2,50$

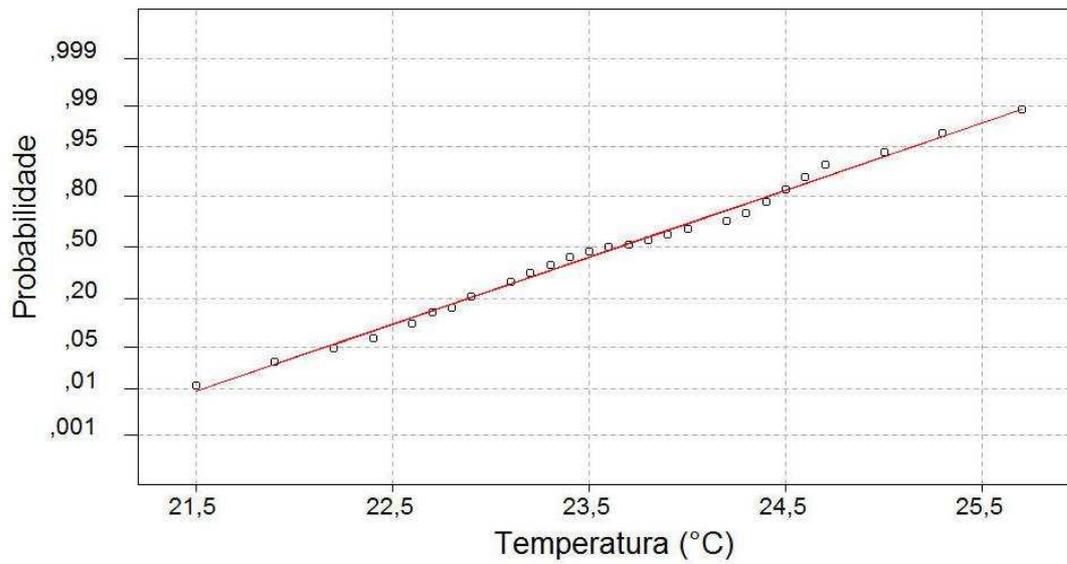


FIGURA 8.21 – Teste de normalidade para meses secos de $I_{ig} > 2,50$

8.4 Testes de Hipótese para as variáveis de I_{ig} (Teste-F)

No intuito de verificar se as cidades classificadas pelas regiões de apodrecimento segundo a Tabela 8.4 possuem populações de temperatura, precipitação e meses secos diferentes, realiza-se o teste- F^3 de variáveis, dividindo-as em duas populações; cidades com I_{ig} menor que 2,50 ($I_{ig}<2,50$) e cidades com I_{ig} maior que 2,50 ($I_{ig}>2,50$).

Adotando-se para a realização do teste-F um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) tem-se:

- **Teste-F para temperatura**

H_0 : a variância das temperaturas para $I_{ig}<2,50$ e $I_{ig}>2,50$ são iguais

H_1 : a variância das temperaturas para $I_{ig}<2,50$ e $I_{ig}>2,50$ não são iguais.

F_{obtido} : 2,845

$F_{crítico}$: 1,596

Valor P: 0,0001

Conclusão: rejeitar H_0

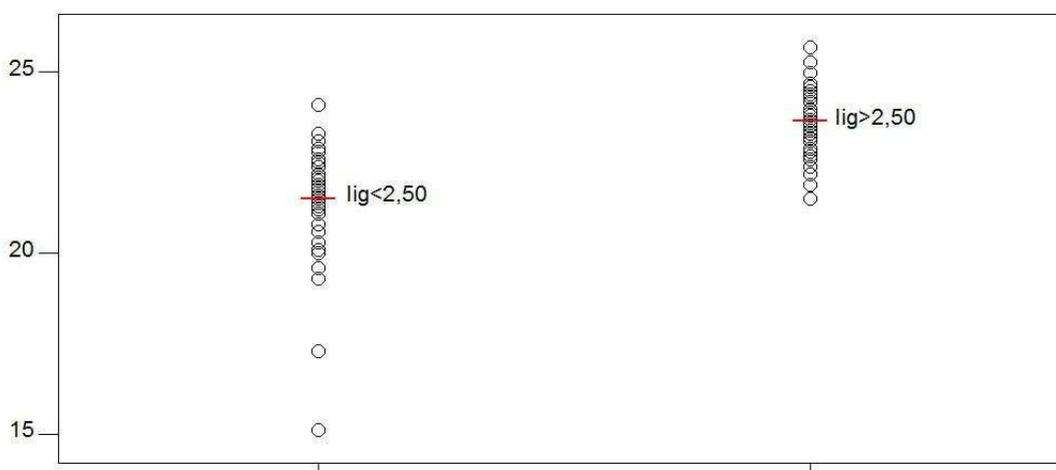


FIGURA 8.22 – Populações de temperatura para $I_{ig}<2,50$ e $I_{ig}>2,50$

- **Teste-F para precipitação**

H_0 : a variância das precipitações de $I_{ig}<2,50$ e $I_{ig}>2,50$ são iguais

H_1 : a variância das precipitações de $I_{ig}<2,50$ e $I_{ig}>2,50$ não são iguais.

F_{obtido} : 3,307

$F_{crítico}$: 1,604

Valor P: 0,000025

Conclusão: rejeitar H_0

³ Ver Anexo I;

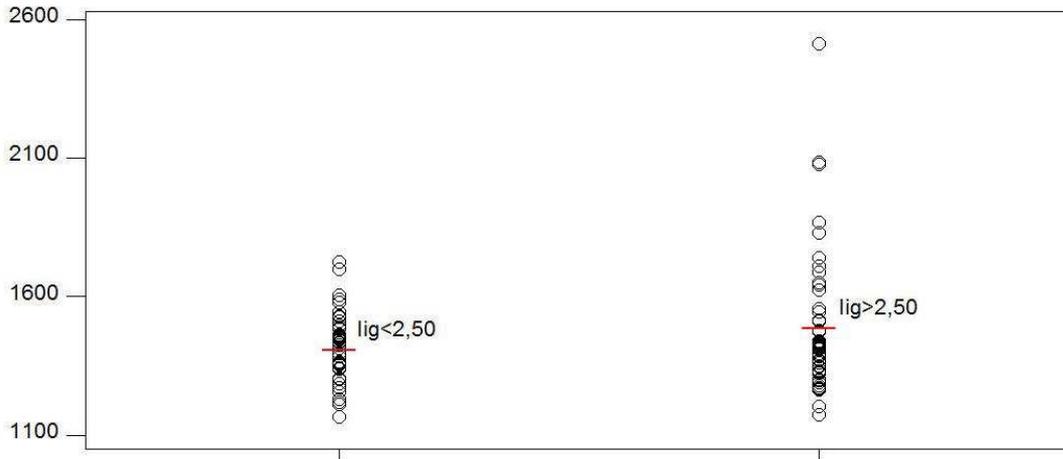


FIGURA 8.23 – Populações de precipitação para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$

• **Teste-F para meses secos**

H_0 : a variância dos meses secos de $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$ são iguais

H_1 : a variância dos meses secos de $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$ não são iguais.

F_{obtido} : 1,220

$F_{crítico}$: 1,604

Valor P: 0,244

Conclusão: não rejeitar H_0

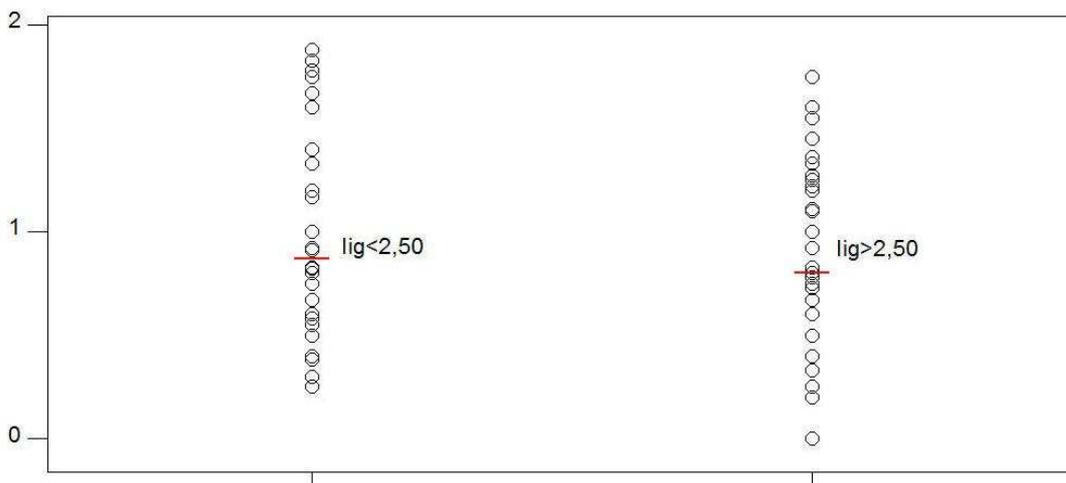


FIGURA 8.24 – Populações de meses secos para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$

Não há evidências estatísticas que as populações de temperatura e precipitação são iguais para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$. Entretanto, existe evidência estatística que as populações de meses secos para $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$ são iguais.

Pode-se concluir que a variável N_{dm} (meses secos) não é para este conjunto de dados em análise, não é uma variável de significativa contribuição para a determinação de I_{ig} .

8.5 Identificação das cidades de menores e maiores agressividades

As Tabelas 8.8 e 8.9 mostram os valores dos dados climatológicos e do *Índice Climático* das dez cidades paulistas mais agressivas e para as dez menos agressivas para madeira em contato com o solo em função do I_{ig} , respectivamente.

TABELA 8.8 – Cidades menos agressivas à madeira no Estado de São Paulo

Cidade	T_{média} (°C)	Prec._{média} (mm)	N_{dm} - meses Secos	I_{ig}
Campos do Jordão	15,1	1726	0,80	2,04
São Roque	20,0	1230	1,00	2,04
Ibiúna	19,3	1254	0,50	2,09
Vargem	20,1	1341	0,75	2,13
Piedade	19,6	1448	0,50	2,16
Capão Bonito	20,1	1364	0,55	2,16
Itararé	17,3	1700	0,25	2,18
São Pedro	20,3	1546	0,80	2,22
Bragança Paulista	20,6	1339	0,60	2,24
Itatiba	20,6	1488	0,60	2,28

As Figuras 8.25 à 8.27 mostram em forma de diagramas os dados das Tabela 8.8. A linha horizontal representa o valor médio para estas localidades, para as respectivas variáveis.

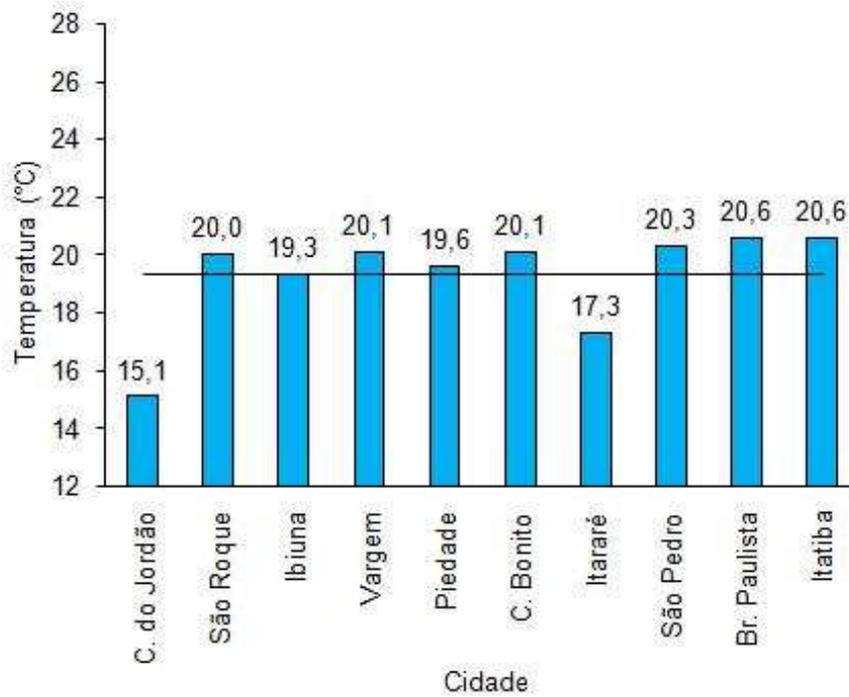


FIGURA 8.25 – Diagrama de temperatura das dez cidades de menor I_{ig}

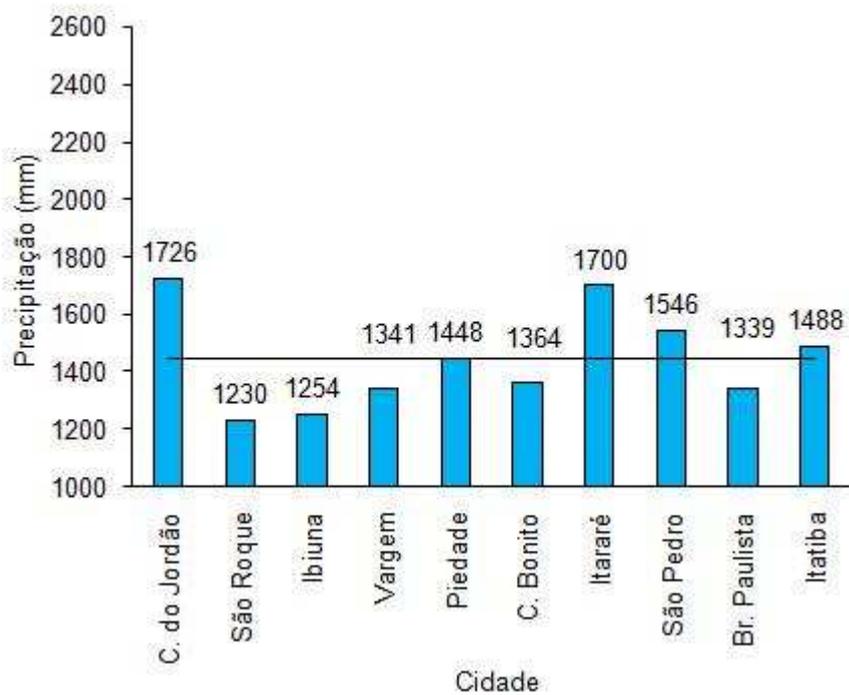


FIGURA 8.26 – Diagrama de precipitação das dez cidades de menor I_{ig}

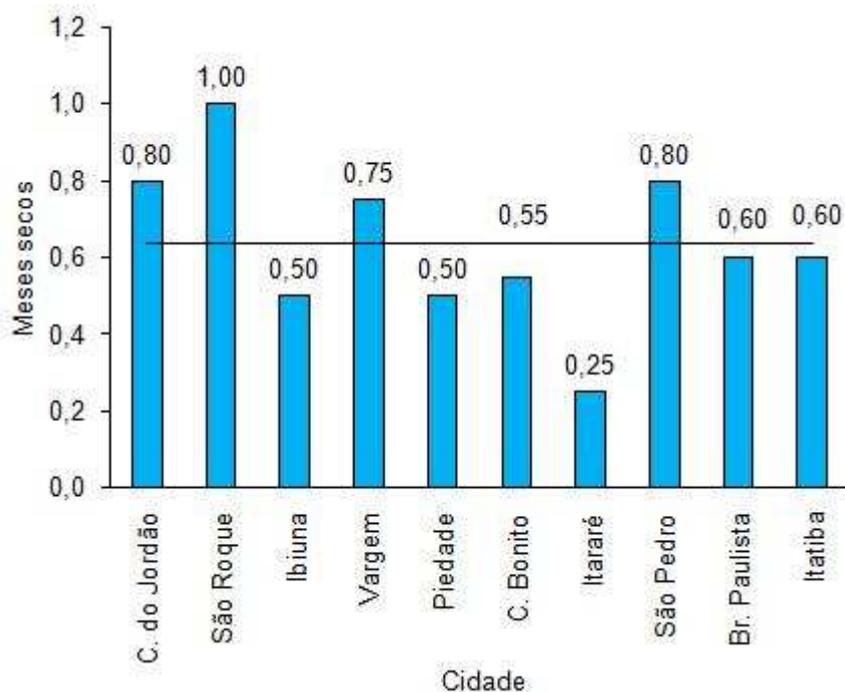


FIGURA 8.27 – Diagrama de meses secos das dez cidades de menor I_{ig}

Análise da Tabela 8.8

- Nenhuma das cidades de menor I_{ig} possui " N_{dm} – meses secos" igual a zero;
- Média de temperatura das cidades menos agressivas: 19,3 °C;
- Média da precipitação das cidades menos agressivas: 1444 mm;
- Nenhuma das cidades de menor I_{ig} possui " N_{dm} – meses secos" igual a zero;
- Média do período seco: 0,63 meses;

TABELA 8.9 – Cidades mais agressivas à madeira no Estado de São Paulo

Cidade	$T_{média}$ (°C)	Prec. média (mm)	N_{dm} - meses Secos	I_{ig}
São José do Rio Pardo	23,4	1650	0,67	2,67
Mirandópolis	25,3	1268	0,78	2,67
Registro	22,6	1709	0,00	2,69
Jacupiranga	22,6	1866	0,20	2,70
Pedrinhas Paulista	23,4	1688	0,50	2,70
Sete Barras	23,1	1624	0,00	2,72
Oswaldo Cruz	25,7	1359	0,80	2,74
Cananéia	22,4	2079	0,00	2,74
Santos	22,9	2087	0,00	2,80
Ubatuba	22,9	2514	0,00	2,85

As Figuras 8.28 à 8.30 mostram em forma de diagramas os dados das Tabela 8.9.

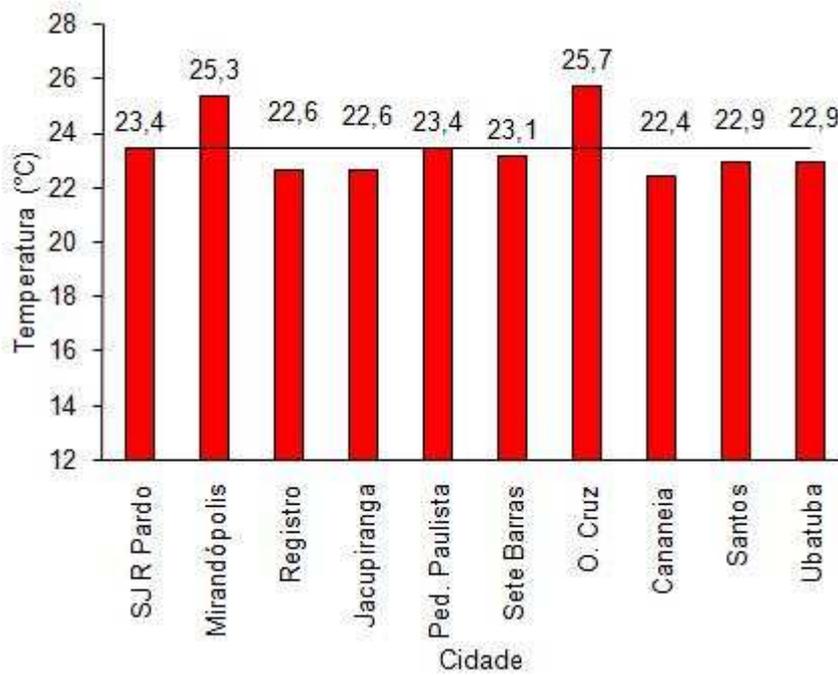


FIGURA 8.28 – Diagrama de temperatura das dez cidades de maior I_g

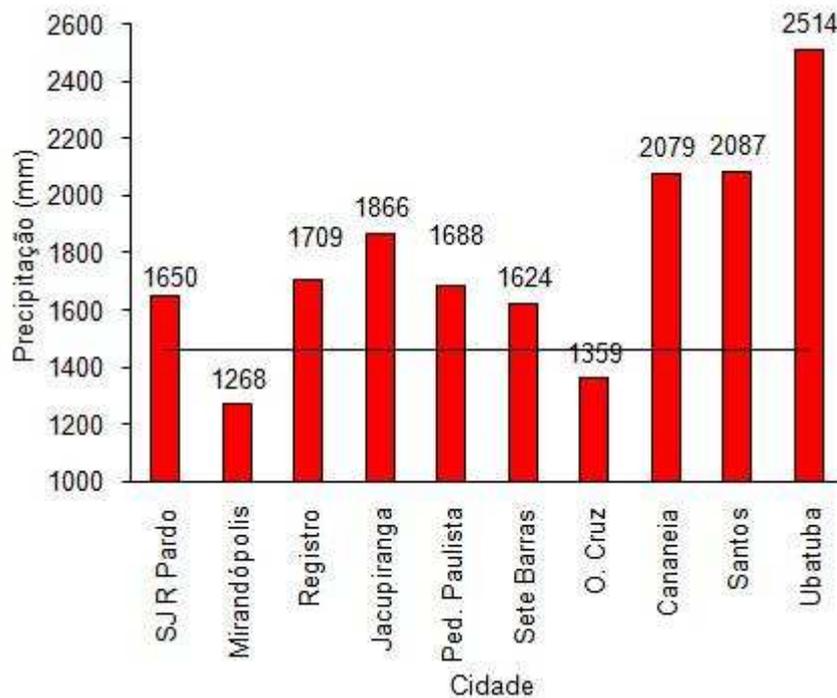


FIGURA 8.29 – Diagrama de precipitação das dez cidades de maior I_g

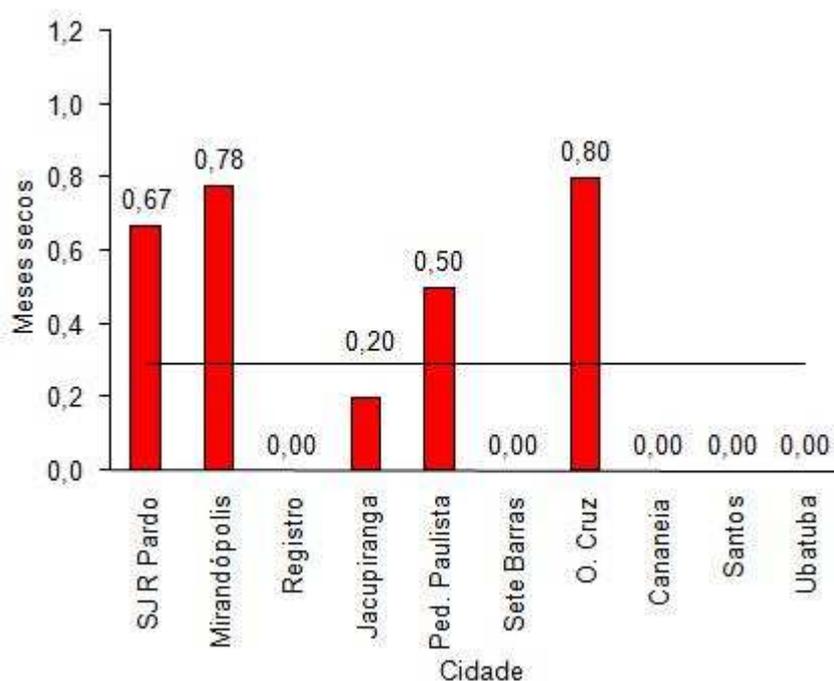


FIGURA 8.30 – Diagrama de meses secos das dez cidades de maior I_{ig}

Análise da Tabela 8.9

- Média de temperatura das cidades mais agressivas: 23,4 °C;
- Média da precipitação das cidades mais agressivas: 1784 mm;
- Média do período seco: 0,29 meses;

Comparando-se as cidades de Campos do Jordão, a menos agressiva com I_{ig} de 2,04, e Ubatuba, a mais agressiva com I_{ig} de 2,85, tem-se uma diferença de 0,81 neste índice, representando que entre estas duas cidades, Ubatuba é 1,40 vezes mais agressiva à madeira em contato com o solo que Campos do Jordão, segundo este modelo.

A Tabela 8.10, realiza uma comparação entre as 10 cidades de menores valores de Índices Climáticos I_{ig} , e as 10 cidades de cada variável (T – temperatura; P – precipitação; N_{dm} – meses secos) de menores valores, respectivamente.

TABELA 8.10 – Comparação de I_{ig} e parâmetros menos agressivos

Cidade	I_{ig}	Cidade	T	Cidade	P	Cidade	N_{dm}
C. do Jordão	2,04	C. do Jordão	15,1	Echaporã	1165	Catanduva	1,88
São Roque	2,04	Itararé	17,3	Capivari	1167	Franca	1,83
Ibiúna	2,09	Ibiúna	19,3	Buritama	1174	Casa Branca	1,78
Vargem	2,13	Piedade	19,6	Ilha Solteira	1204	São Simão	1,75
Piedade	2,16	São Roque	20,0	Catanduva	1210	Barretos	1,75
Capão Bonito	2,16	Vargem	20,1	Sorocaba	1212	Ribeirão Preto	1,67
Itararé	2,18	Capão Bonito	20,1	Tietê	1216	V.Gde. do Sul	1,60
São Pedro	2,22	São Pedro	20,3	Sumaré	1217	Guaira	1,60
Brag. Paulista	2,24	Brag. Paulista	20,6	São Roque	1230	Jales	1,55
Itatiba	2,28	Itatiba	20,6	Ibiúna	1254	S. J. Rio Preto	1,55

Análise da Tabela 8.10:

- *Temperatura: as dez cidadess com menores valores de temperatura, corresponde às cidades de menores valores de I_{ig} ;*
- *Precipitação: apenas duas cidades (São Roque e Ibiúna) são cidades de menores valores de precipitações e com menores valores de I_{ig} ;*
- *Meses secos: nenhuma das dez cidadess de maior período seco, estão presentes entre as cidades menores valores de I_{ig}*

A Tabela 8.11, realiza a mesma comparação, entretanto para as 10 cidades de maiores valores de Índices Climáticos I_{ig} , e as 10 cidades de cada variável (T – temperatura; P – precipitação; N_{dm} – meses secos) que possuem tais valores que mais contribuem para o processo de apodrecimento.

TABELA 8.11 – Comparação de I_{ig} e parâmetros mais agressivos

Cidade	I_{ig}	Cidade	T	Cidade	P	Cidade	N_{dm}
S.J. Rio Pardo	2,67	Auriflama	24,5	Pedr. Paulista	1688	Itapeva	0,30
Mirandópolis	2,67	Penápolis	24,5	Itararé	1700	Itararé	0,25
Registro	2,69	Andradina	24,6	Registro	1709	Jacupiranga	0,20
Jacupiranga	2,70	Tupi Paulista	24,6	C. do Jordão	1726	Miracatu	0,00
Pedr. Paulista	2,70	Araçatuba	24,6	Pariquera-Açu	1739	Sete Barras	0,00
Sete Barras	2,72	Barretos	24,7	Taquaritinga	1831	Registro	0,00
Oswaldo Cruz	2,74	Ilha Solteira	25,0	Jacupiranga	1866	Pariquera-Açu	0,00
Cananéia	2,74	S.J. Rio Preto	25,0	Cananéia	2079	Cananéia	0,00
Santos	2,80	Mirandópolis	25,3	Santos	2087	Santos	0,00
Ubatuba	2,85	Oswaldo Cruz	25,7	Ubatuba	2514	Ubatuba	0,00

Análise da Tabela 8.11:

- *Temperatura: duas cidades (Mirandópolis e Oswaldo Cruz) com maiores valores de temperatura correspondem às cidades de menores valores de I_{ig} , ambas com temperatura acima de 25 °C;*
- *Precipitação: seis cidades (Pedrinhas Paulistas, Registro, Jacupiranga, Cananéia, Santos e Ubatuba) são cidades de maiores valores de precipitações e com maiores valores de I_{ig} ;*
- *As três cidades de maiores precipitações anuais (Cananéia, Santo e Ubatuba), correspondem as três cidades de maiores valores de I_{ig} , na mesma sequência – as três com precipitações médias acima de 2000 mm;*
- *Meses secos: seis cidades (Jacupiranga, Sete Barras, Registro, Cananéia, Santos e Ubatuba) menor período seco, estão presentes entre as cidades menores valores de I_{ig} – todas com período seco menor ou igual a 0,20 meses;*

8.6 Previsão do apodrecimento em madeira não-tratada

Para avaliação comparativa entre espécies de madeira de reflorestamento não-tratada, utilizadas como postes ou com potencial, são determinadas as razões de apodrecimento (mm/ano) e tempo necessário para o apodrecimento de 5 mm.

As espécies consideradas são *Corymbia citriodora*⁴, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. As duas primeiras espécies são indicadas para o uso como poste através da NBR 8456/1984.

A espécie *Eucalyptus grandis* é verificada, pois está sendo utilizada sem ser normatizada, apenas referenciada atualmente pela NBR 7190/1997 para o uso em estruturas. A espécie *Pinus taeda* é avaliada em função de seu potencial, pois ela foi indicada para uso estrutural pela NBR 7190/1997 e também é utilizada como poste na Austrália, sendo normatizada pela AS 2209-1994.

A Tabela 8.12 mostra os parâmetros a serem utilizados no cálculo. Os dados foram extraídos das Tabelas 3.17, 3.18 e 7.2.

⁴ Anteriormente denominada *Eucalyptus Citriodora*, e indicada como tal pela NBR 7190/1997;

TABELA 8.12 – Classificação de espécies por durabilidade

Espécie	Classe de durabilidade (AS 5604-2005)	A	Tempo inicial
			$lag_{un,heart,stack}$ (anos)
<i>Eucalyptus propinqua</i>	1	0,20	6
<i>Corymbia citriodora</i>	2	0,55	4
<i>Eucalyptus grandis</i>	3	0,80	2
<i>Pinus taeda</i>	4	1,85	1

Para as espécies normatizadas⁵ (*Eucalyptus propinqua* e *Eucalyptus grandis*), existe uma grande diferença no coeficiente “A”, em função da classificação de durabilidade diferente. A relação existente entre esta é de 9,25 vezes entre a mais durável e a menos durável.

A partir da Eq. 7.7, realiza-se o cálculo da razão de apodrecimento do cerne ($r_{nt,cerne,estaca}$) em estacas⁶, Tabelas 8.13 e 8.14.

TABELA 8.13 – Razão de apodrecimento do cerne de espécies de eucalipto e pínus em estacas em contato com o solo para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	Razão de apodrecimento (mm/ano)			
	<i>Eucalyptus propinqua</i>	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
Campos do Jordão	0,41	1,12	1,63	3,78
São Roque	0,41	1,12	1,63	3,80
Ibiúna	0,42	1,15	1,67	3,89
Vargem	0,43	1,17	1,71	3,96
Piedade	0,43	1,19	1,73	4,02
Capão Bonito	0,43	1,19	1,73	4,02
Itararé	0,44	1,20	1,74	4,05
São Pedro	0,44	1,22	1,78	4,13
Bragança Paulista	0,45	1,23	1,79	4,16
Itatiba	0,46	1,26	1,83	4,24

⁵ Pela NBR 8456/1984

⁶ Figura 7.3

TABELA 8.14 – Razão de apodrecimento do cerne de espécies de eucalipto e pinus em estacas em contato com o solo para as cidades mais agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	Razão de apodrecimento (mm/ano)			
	<i>Eucalyptus propinqua</i>	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
S. José do Rio Pardo	0,53	1,47	2,13	4,95
Mirandópolis	0,53	1,47	2,14	4,97
Registro	0,54	1,48	2,15	5,00
Jacupiranga	0,54	1,48	2,16	5,02
Pedrinhas Paulista	0,54	1,48	2,16	5,02
Sete Barras	0,54	1,50	2,18	5,06
Oswaldo Cruz	0,55	1,51	2,19	5,09
Cananéia	0,55	1,51	2,19	5,09
Santos	0,56	1,54	2,24	5,20
Ubatuba	0,57	1,57	2,28	5,30

É importante verificar a grande diferença na razão de apodrecimento, com a variação de espécies e cidades. Comparando-se a razão de durabilidade para a combinação da cidade de Campos do Jordão e *Eucalyptus propinqua* (0,41) e a combinação entre Ubatuba e *Eucalyptus grandis* (2,28), tem-se um valor de 5,56 vezes maior para a situação mais desfavorável. Somando-se a esta, o período inicial para o apodrecimento do *Eucalyptus propinqua* é de 6 anos, enquanto que para o *Eucalyptus grandis* é de 2 anos.

A Tabela 8.15 considerando cidades dos extremos (Campos do Jordão e Ubatuba) e espécies diferentes, mostra uma previsão do tempo necessário para que em uma estaca de cerne em contato com o solo ocorra um apodrecimento de 5 mm.

TABELA 8.15 – Previsão de tempo necessário para apodrecimento de 5 mm de cerne em estaca com contato com o solo para espécies de normatizadas nacionalmente

Cidade	Espécie	Período inicial (anos)	Razão de apodrecimento (mm/ano)	Tempo necessário (anos)
Campos do Jordão	<i>Eucalyptus propinqua</i>	6	0,71	13,0
	<i>Corymbia citriodora</i>	4	1,12	8,5
	<i>Eucalyptus grandis</i>	2	1,63	5,1
	<i>Pinus taeda</i>	1	3,78	2,3
Ubatuba	<i>Eucalyptus propinqua</i>	6	0,57	14,4
	<i>Corymbia citriodora</i>	4	1,57	7,2
	<i>Eucalyptus grandis</i>	2	2,28	4,2
	<i>Pinus taeda</i>	1	5,30	1,9

Assim para este modelo de apodrecimento, quando aplicado ao Estado de São Paulo, evidencia-se que a maior influência sobre o processo de apodrecimento, é em função da espécie utilizada, possuindo uma menor influência as condições climáticas.

8.7 Previsão do apodrecimento em postes tratados

Em tal processo de apodrecimento, os dois parâmetros necessários são o tempo para o início do apodrecimento do alburno tratado ($Lag_{tr,alb,poste}$) e a sua posterior velocidade ($r_{tr,alb,poste}$), conforme as Eq. 7.15 e 7.16. Assim, são necessárias para a determinação dos parâmetros, a concentração de preservativo e a densidade das madeiras, para a determinação da porcentagem em kg/kg.

Utilizando os valores de densidade aparente para as espécies *propinqua*, *citriodora*, *grandis* conforme a NBR 7190/1997, foram determinados os valores de concentração de CCA em percentual de ingrediente ativo em massa, considerando que a NBR 8456/1984 impõe que a concentração mínima de preservativo hidrossolúvel, no qual o CCA – Arseniato de Cobre Cromatado se enquadra, seja de 9,6 kg/m³. A Tabela 8.16 indica as densidades aparentes (kg/m³) e a concentração de CCA em percentual de massa (kg/kg %) de ingrediente ativo para as espécies consideradas.

TABELA 8.16 – Percentual de ingrediente ativo adotado

Espécie	Densidade (kg/m ³)	Percentual de ingrediente ativo (kg/kg)
<i>Eucaliptus propinqua</i>	952	1,01
<i>Corymbia citriodora</i>	999	0,96
<i>Eucaliptus grandis</i>	640	1,50

Em virtude de $Lag_{tr,alb,poste}$ (Eq. 7.15) não depender do *Índice Climático*, e sim apenas da concentração de preservativo, este parâmetro é fixo para uma mesma espécie, não variando entre as cidades. Os valores obtidos são de 23,1 anos; 22,7 anos e 27,0 anos, para as espécies *Propinqua*, *Citriodora* e *Grandis*, respectivamente.

Entretanto o valor de $r_{tr,alb,poste}$ (Eq 7.16) depende tanto da concentração de preservativo, bem como do Índice Climático. Porém, deve-se salientar que a durabilidade natural da espécie não influencia, visto que para todas as espécies de madeira tratada, adota-se a durabilidade da classe 4. Os valores de $r_{tr,alb,poste}$ são apresentado nas Tabelas 8.17 e 8.18.

TABELA 8.17 – Razão de apodrecimento de alburno tratado para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	$r_{tr,alb,poste}$ (mm/ano)		
	<i>Eucaliptus Propinqua</i>	<i>Corymbia Citriodora</i>	<i>Eucaliptus Grandis</i>
Campos do Jordão	0,47	0,49	0,32
São Roque	0,47	0,49	0,32
Ibiúna	0,48	0,50	0,33
Vargem	0,49	0,51	0,34
Piedade	0,50	0,52	0,34
Capão Bonito	0,50	0,52	0,34
Itararé	0,50	0,52	0,34
São Pedro	0,51	0,53	0,35
Bragança Paulista	0,51	0,54	0,35
Itatiba	0,52	0,55	0,36

TABELA 8.18 – Razão de apodrecimento de alburno tratado para as cidades mais agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	$r_{tr,alb,poste}$ (mm/ano)		
	<i>Eucaliptus Propinqua</i>	<i>Corymbia Citriodora</i>	<i>Eucaliptus Grandis</i>
S. José do Rio Pardo	0,61	0,64	0,42
Mirandópolis	0,61	0,64	0,42
Registro	0,62	0,65	0,42
Jacupiranga	0,62	0,65	0,42
Pedrinhas Paulista	0,62	0,65	0,43
Sete Barras	0,62	0,65	0,43
Oswaldo Cruz	0,63	0,66	0,43
Cananéia	0,63	0,66	0,43
Santos	0,64	0,67	0,44
Ubatuba	0,65	0,69	0,45

Da resistência dos materiais, tem-se a tensão máxima na seção transversal dada pela relação do momento solicitante (M) e o módulo resistente da seção (W), conforme a Equação 8.5.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} \quad (8.5)$$

Para a seção circular, o módulo resistente é dado por

$$W_{circular} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \quad (8.6)$$

Utilizando como referência um poste de eucalipto do tipo P de 10,5 m, que resiste 600 daN, com diâmetro de 278 mm, Tabela B.1 do Anexo B, este possui um módulo resistente de 2.109.280 mm³.

Para a perda se seção resistente, utiliza-se como referência pela Tabela 4.4 a condição *Hardwood preservado em todo o comprimento* e diâmetro entre 250 mm e 400 mm, onde o k_d para esta situação é de 0,85. Desse modo a perda de seção resistente é de 15%, alterando o módulo resistente da seção de engastamento para 1.792.888 mm³. O diâmetro varia de 278 mm para 263 mm ($\Delta D = 15$ mm), com perda de 7,5 mm no raio da seção transversal.

Através dos parâmetros calculados para o processo de apodrecimento externo, $Lag_{tr,alb,poste}$ e $r_{tr,alb,poste}$, determinou-se o tempo necessário para que ocorra um apodrecimento de 7,5 mm para cada cidade, Tabelas 8.19 e 8.20.

TABELA 8.19 – Tempo para perda da capacidade resistente para as cidades menos agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	Tempo (anos)		
	<i>Eucaliptus Propinqua</i>	<i>Corymbia Citriodora</i>	<i>Eucaliptus Grandis</i>
Campos do Jordão	39,2	38,0	50,4
São Roque	39,1	38,0	50,3
Ibiúna	38,7	37,6	49,8
Vargem	38,4	37,3	49,3
Piedade	38,2	37,1	49,0
Capão Bonito	38,2	37,1	49,0
Itararé	38,1	37,0	48,9
São Pedro	37,8	36,7	48,4
Bragança Paulista	37,7	36,6	48,3
Itatiba	37,4	36,4	47,9

TABELA 8.20 – Tempo para perda da capacidade resistente para cidades mais agressivas do Estado de São Paulo

Cidade	Tempo (anos)		
	<i>Eucaliptus Propinqua</i>	<i>Corymbia Citriodora</i>	<i>Eucaliptus Grandis</i>
S. José do Rio Pardo	35,4	34,4	44,9
Mirandópolis	35,3	34,4	44,8
Registro	35,2	34,3	44,7
Jacupiranga	35,2	34,2	44,7
Pedrinhas Paulista	35,2	34,2	44,6
Sete Barras	35,1	34,1	44,5
Oswaldo Cruz	35,0	34,1	44,4
Cananéia	35,0	34,1	44,4
Santos	34,8	33,8	44,0
Ubatuba	34,6	33,6	43,7

Para o caso estudado, a maior influência no tempo de vida útil foi do tipo de espécie utilizada, sendo menor a influência em função das características climáticas.

Além disso, propõem que o apodrecimento da madeira, mesmo esta sendo preservada, ocorre diferentemente entre as espécies de um mesmo gênero, o que provavelmente em função da maior ou menor facilidade de uma dada espécie ser preservada e posteriormente reter o produto preservante.

Este modelo utiliza como dado, a concentração de preservativo no poste tratado, não considerando a variação desta concentração com a espessura, bem como a sua variação como o decorrer do tempo, devido à lixiviação do produto preservativo. Assim uma razão linear de apodrecimento não expressa o real mecanismo que ocorre na madeira tratada. Independentemente deste modelo prever o processo de apodrecimento dos postes com relativa precisão, pode-se concluir que não é correto esta vida útil seja admitida e normatizada como fixa, independente da espécie utilizada ou condição climática da região.

9 PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DE MODELO DE AGRESSIVIDADE

A proposição de um modelo simplificado vem ao encontro da necessidade de se facilitar e desenvolver a prática de projetar a vida útil de estruturas e sistemas em madeira visando a sustentabilidade. Projetar a vida útil de sistemas e estruturas é contribuir com a sustentabilidade ambiental, através de um melhor aproveitamento dos recursos a serem utilizados.

Tanto o modelo proposto por Scheffer (1971), bem como o proposto por Leicester et al. (2003), para a obtenção de um valor que indique e quantifique a possibilidade de apodrecimento da madeira em contato com o solo de uma região, e sua posterior comparação entre regiões, possuem dificuldades práticas para a utilização como uma ferramenta de projeto no cotidiano profissional.

9.1 Justificativa da proposição

Esta dificuldade é apresentada em função das variáveis adotadas para a determinação dos Índices Climáticos, CI e I_{ig} , segundo Sheffer ou Leicester, respectivamente.

As variáveis “ T ” e “ D ” de Scheffer, e “ N_{dm} ” de Leicester não são variáveis do cotidiano profissional, isto é não são de fáceis obtenção. Apenas profissionais ligados a instituições voltadas ao estudo climático ou de caráter acadêmico possuem condições de obterem tais dados, porém mesmo assim não sendo de fáceis condições de obtenção¹.

Um profissional da área de projetos de redes de distribuição de energia, ou até mesmo voltado ao desenvolvimento de projetos de estruturas civis, possivelmente não terá fáceis condições de obter tais variáveis.

¹ O próprio autor deste estudo, apenas após o contato com a instituição fornecedora dos dados (IAC), obteve a possibilidade de dar seqüência dos trabalhos. Os dados fornecidos foram de leituras diárias de temperaturas máximas e mínimas e precipitação, sendo necessário o levantamento do valor de “ N_{dm} ”, mês a mês, ano a ano, para cada estação climatológica.

As palavras “EFICAZ” e “EFICIENTE” podem melhor exemplificar a idéia que se deseja mostrar, considerando os seus significados que os dicionários registram.²

Assim, um modelo de determinação de agressividade e/ou previsão de vida útil é EFICAZ, quando o valor obtido por este, acerta com precisão o valor real de campo, através da utilização de variáveis que com facilidade ou não são obtidas.

Já um modelo EFICIENTE, é aquele que através de variáveis de fácil obtenção, chega à previsões próximas dos valores reais de campo.

Através de uma analogia, a Figura 9.1, faz uma comparação entre o que seria um modelo “eficaz” e um “eficiente”.

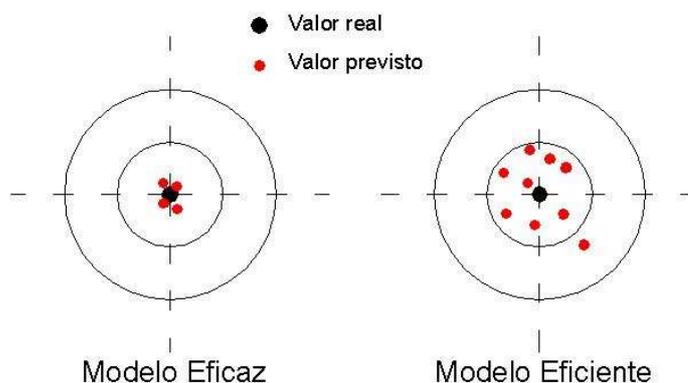


FIGURA 9.1 – Analogia de modelos Eficaz e Eficiente

Atualmente tanto as normas para projeto de redes de distribuição de energia, bem como a norma de projeto de estruturas de madeira, NBR 7190/1997, não adotam nenhum modelo de durabilidade. Portanto, o mais adequado e prático, e até mesmo mais didático, visando incutir o pensamento de se prever e projetar a vida útil de determinado sistema em madeira é preferível propor ao meio técnico-acadêmico a utilização de um modelo eficiente em vez de um modelo eficaz.

O modelo a ser simplificado é o de *Leicester*, considerando que este possui três variáveis e apenas uma de difícil obtenção, enquanto que o modelo de *Scheffer* possui duas variáveis, ambas de difícil obtenção.

Analisando o termo referente ao N_{dm} no modelo Leicester, $(1 - N_{dm}/6)$, verifica-se que este se trata de um **termo redutor** de efeito da precipitação, de variação linear inversamente proporcional. Assim com o aumento desta variável, o resultado deste termo diminui, minimizando o efeito da função $f_{0(Rmean)}$. A Figura 9.2, mostra a variação do termo redutor em função de N_{dm} .

² Segundo o dicionário da Língua Portuguesa AURÉLIO tem-se:

- **Eficaz**: que produz efeito o desejado § **eficácia** sf.
- **Eficiência**: ação ou virtude de produzir um efeito § **eficiente** adj.

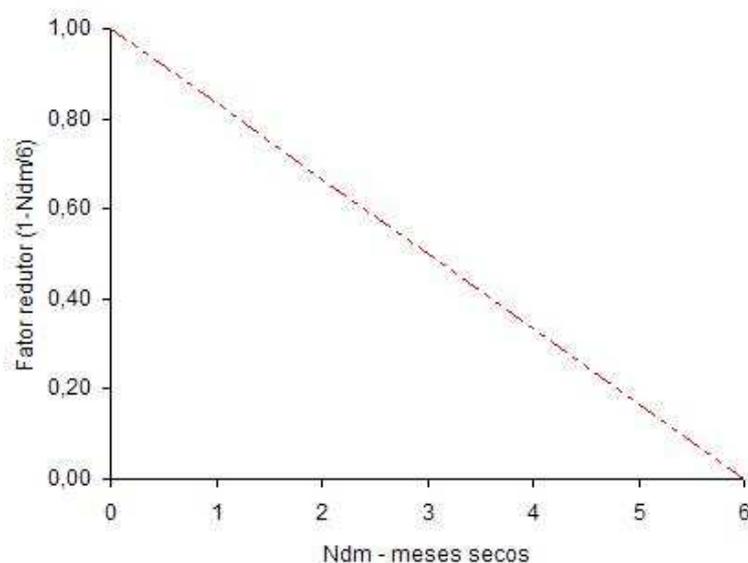


FIGURA 9.2 – Variação do fator redutor no modelo de Leicester

Para as estações meteorológicas do Estado de São Paulo, em que se baseia este trabalho, o máximo valor de N_{dm} existente é 1,9, correspondendo a um fator de redução de 0,68.

A amostra de valores de N_{dm} – meses secos, após a aplicação do termo de redução $(1 - N_{dm}/6)$ corresponde a uma distribuição de valores do fator redutor, mostrado pela Figura 9.3.

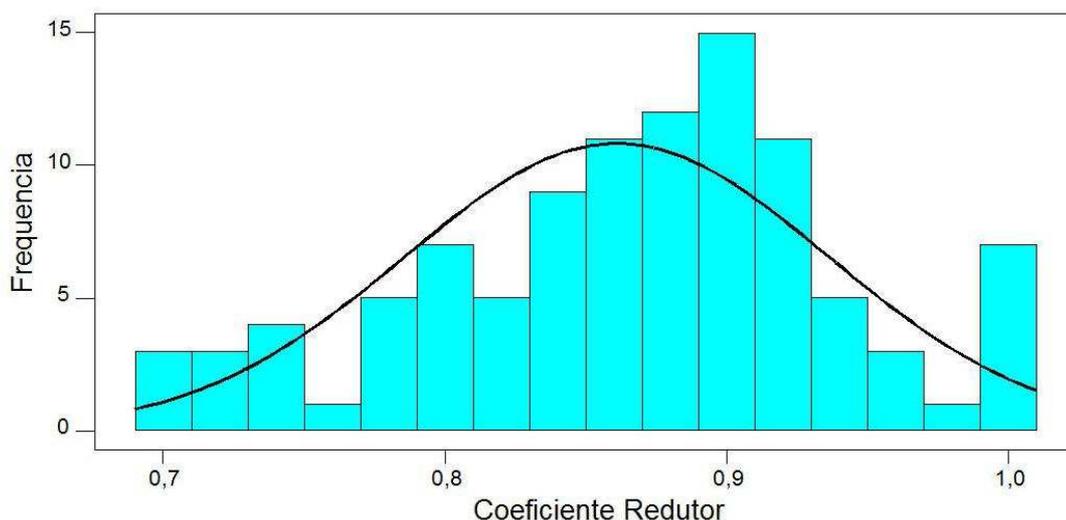


FIGURA 9.3 – Histograma de frequência absoluta do coeficiente redutor do modelo de Leicester

Os valores da média e mediana são 0,86 e 0,87, respectivamente. Assim a média da redução do valor obtido por $f_0(R_{média})$ é 0,14, ou seja 14%.

A retirada da variável N_{dm} (meses secos) do modelo de Leicester, é fundamentada nos testes de hipótese realizados no capítulo 8, onde foi possível verificar que para as

populações de $I_{ig<2,50}$ e $I_{ig>2,50}$ as variáveis *temperatura* e *precipitação* não existem evidências estatísticas de que estas sejam iguais, entretanto foi constatada evidência estatística de que estas populações são iguais para a variável *meses secos*.

9.2 Simplificação do Modelo

A simplificação proposta vem a ser a retirada da variável esta “ N_{dm} – meses secos”, a qual é a de maior dificuldade a obtenção.

Inicia-se a simplificação apenas com a retirada da variável N_{dm} do modelo, juntamente com o termo redutor. O modelo a ser utilizado inicialmente é dado a seguir:

Modelo de Leicester simplificado

$$I_{ig;simplificado} = f(R_{média})^{0,3} \times g(T_{média})^{0,2} \quad (9.1)$$

$$f(R_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } R_{média} \leq 250 \text{ mm} \\ f_0(R_{média}), & \text{Se } R_{média} > 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (9.2)$$

$$f_0(R_{média}) = 10 \times [1 - e^{-0,001(R_{média}-250)}] \quad (9.3)$$

$$g(T_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } T_{média} \leq 5^\circ\text{C} \\ -1 + 0,2 \times T_{média}, & \text{Se } 5^\circ\text{C} < T_{média} \leq 20^\circ\text{C} \\ -25 + 1,4 \times T_{média}, & \text{Se } T_{média} > 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (9.4)$$

Com o intuito de se verificar o efeito da simplificação, a seguir são comparados os valores de $I_{ig;simplificado}$ e I_{ig} para as cidades do Estado de São Paulo, Tabela 9.1. Tendo-se como referência o valor de I_{ig} também é determinado os valores percentuais de variação, ao se realizar a simplificação do modelo.

TABELA 9.1 – Comparação de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$

Identificação	Cidade	I_{ig}	$I_{ig,simplificado}$	Varição
1	Adamantina	2,57	2,70	5,1%
2	Andradina	2,56	2,74	6,9%
3	Araçatuba	2,63	2,80	6,3%
4	Assis	2,47	2,55	3,1%
5	Auriflama	2,53	2,73	7,8%
6	Barretos	2,56	2,84	10,9%
7	Bauru	2,56	2,71	5,6%
8	Bebedouro	2,51	2,72	8,0%
9	Botucatu	2,36	2,48	5,1%
10	Bragança Paulista	2,24	2,31	3,2%
11	Buritama	2,51	2,65	5,6%
12	Campinas	2,45	2,57	5,1%
13	Campos do Jordão	2,04	2,12	4,4%
14	Cananéia	2,74	2,74	0,0%
15	Candido Mota	2,38	2,49	4,6%
16	Capão Bonito	2,16	2,23	2,9%
17	Capivari	2,29	2,42	5,6%
18	Casa Branca	2,34	2,60	11,1%
19	Catanduva	2,38	2,66	11,9%
20	Echaporã - Fazenda Barion	2,44	2,52	3,2%
21	Eldorado	2,54	2,66	4,4%
22	Franca	2,32	2,58	11,6%
23	Guaira	2,56	2,81	9,8%
24	Ibirarema	2,47	2,56	3,6%
25	Ibiúna	2,09	2,15	2,6%
26	Iepê	2,44	2,49	2,1%
27	Ilha Solteira	2,55	2,73	7,3%
28	Ipaussu	2,44	2,53	3,6%
29	Itapetininga	2,33	2,39	2,6%
30	Itapeva	2,46	2,50	1,6%
31	Itararé	2,18	2,20	1,3%
32	Itararé - Delegacia Agrícola	2,56	2,59	1,3%
33	Itatiba	2,28	2,36	3,2%
34	Jaboticabal	2,48	2,67	7,8%
35	Jacupiranga	2,70	2,73	1,0%
36	Jales	2,51	2,74	9,3%
37	Jaú	2,49	2,63	5,6%

CONTINUA

Identificação	Cidade	I _{ig}	I _{ig:simplificado}	Variação
CONTINUAÇÃO				
38	José Bonifácio	2,52	2,74	8,7%
39	Jundiaí	2,35	2,46	4,5%
40	Limeira	2,34	2,50	6,9%
41	Lins	2,59	2,77	6,9%
42	Manduri	2,43	2,49	2,6%
43	Maraci	2,60	2,67	2,6%
44	Marília	2,62	2,71	3,6%
45	Matão	2,52	2,66	5,6%
46	Miracatu	2,66	2,66	0,0%
47	Mirandópolis	2,67	2,79	4,3%
48	Mirante do Paranapanema	2,57	2,68	4,4%
49	Mococa	2,50	2,68	7,3%
50	Monte Alegre	2,31	2,42	4,6%
51	Oswaldo Cruz	2,74	2,86	4,4%
52	Ourinhos	2,61	2,68	2,6%
53	Palmital	2,60	2,65	1,7%
54	Paraesópolis	2,49	2,58	3,6%
55	Paraguaçu Paulista - Cocal	2,63	2,72	3,6%
56	Paraguaçu Paulista - Horto	2,53	2,64	4,6%
57	Parquera-Açu	2,65	2,65	0,0%
58	Paulínia	2,53	2,63	4,0%
59	Pedrinhas Paulista	2,70	2,77	2,6%
60	Penápolis	2,62	2,79	6,3%
61	Piacatu	2,55	2,71	6,3%
62	Piedade	2,16	2,22	2,6%
63	Pindamonhangaba	2,48	2,54	2,6%
64	Pindorama	2,45	2,65	7,8%
65	Piracaia	2,33	2,40	3,2%
66	Piracicaba	2,42	2,55	5,1%
67	Presidente Prudente	2,61	2,71	4,1%
68	Quatá	2,61	2,73	4,6%
69	Rancharia	2,65	2,73	3,2%
70	Rancharia - Casa da Agricultura	2,57	2,72	5,6%
71	Rancharia - Fazenda Bartira	2,54	2,66	4,4%
72	Registro	2,69	2,69	0,0%
73	Ribeirão Preto	2,42	2,67	10,3%
74	Santa Bárbara do Oeste	2,34	2,47	5,6%
75	Sta. Cruz do R. Pardo – Faz. Pardo Guacho	2,45	2,52	2,6%
76	Santa Maria da Serra	2,40	2,48	3,2%

Identificação	Cidade	I_{ig}	$I_{ig,simplificado}$	Variação
CONTINUAÇÃO				
77	Santos	2,80	2,80	0,0%
78	São Carlos	2,34	2,49	6,7%
79	São José das Laranjeiras	2,66	2,72	2,1%
80	São José do Rio Pardo	2,67	2,76	3,6%
81	São José do Rio Preto	2,59	2,83	9,3%
82	São Paulo	2,42	2,47	2,0%
83	São Pedro	2,22	2,32	4,4%
84	São Pedro do Turvo	2,52	2,61	3,6%
85	São Roque	2,04	2,16	5,6%
86	São Simão	2,43	2,69	10,9%
87	Sete Barras	2,72	2,72	0,0%
88	Sorocaba	2,37	2,48	4,4%
89	Sumaré	2,29	2,48	8,3%
90	Taquaritinga	2,51	2,58	2,6%
91	Tarumã	2,55	2,64	3,6%
92	Tatuí	2,34	2,44	4,6%
93	Taubaté	2,43	2,47	2,0%
94	Tietê	2,35	2,47	5,1%
95	Tupã	2,58	2,73	5,6%
96	Tupi Paulista	2,58	2,77	7,4%
97	Ubatuba	2,85	2,85	0,0%
98	Valinhos	2,48	2,59	4,4%
99	Valpariso	2,55	2,74	7,1%
100	Vargem	2,13	2,22	4,1%
101	V. Grande. do Sul - Assoc. Bataticultores	2,37	2,60	9,8%
102	Votuporanga	2,57	2,74	6,3%

A Tabela 9.2 compara a estatística descritiva para de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$.

TABELA 9.2 – Estatística descritiva de $I_{ig,simplificado}$

Estatística	I_{ig}	$I_{ig,simplificado}$
Média	2,48	2,60
Mediana	2,51	2,65
Mínimo	2,04	2,12
Máximo	2,85	2,86

A Figura 9.4, mostra o histograma de frequência absoluta de $I_{ig;simplicado}$.

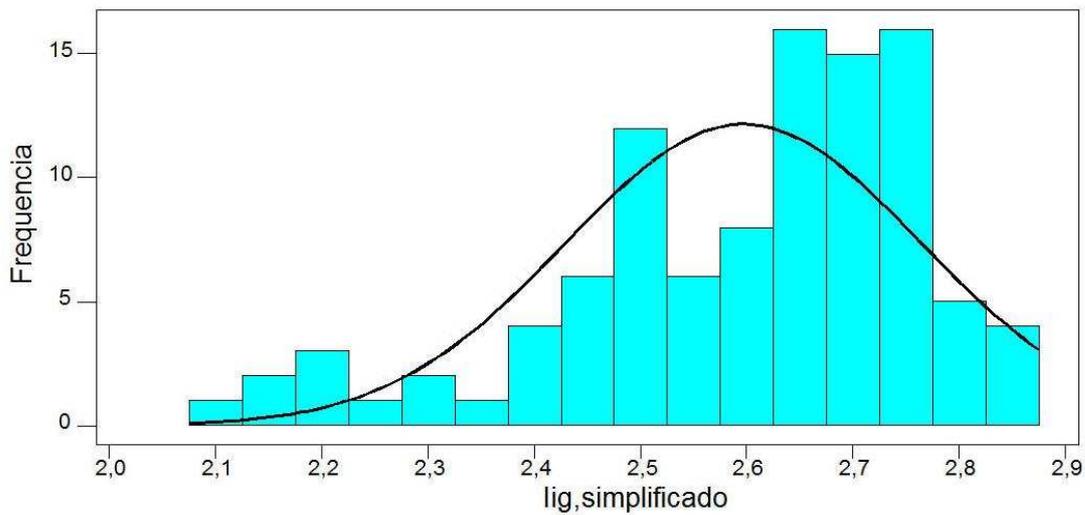


FIGURA 9.4 – Histograma de frequência absoluta dos $I_{ig;simplicado}$ para as cidades do Estado de São Paulo

A Figura 9.5, compara a dispersão dos valores de I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$. Pode-se observar um deslocamento positivo (aumento dos valores) da população de dados bem como da média.

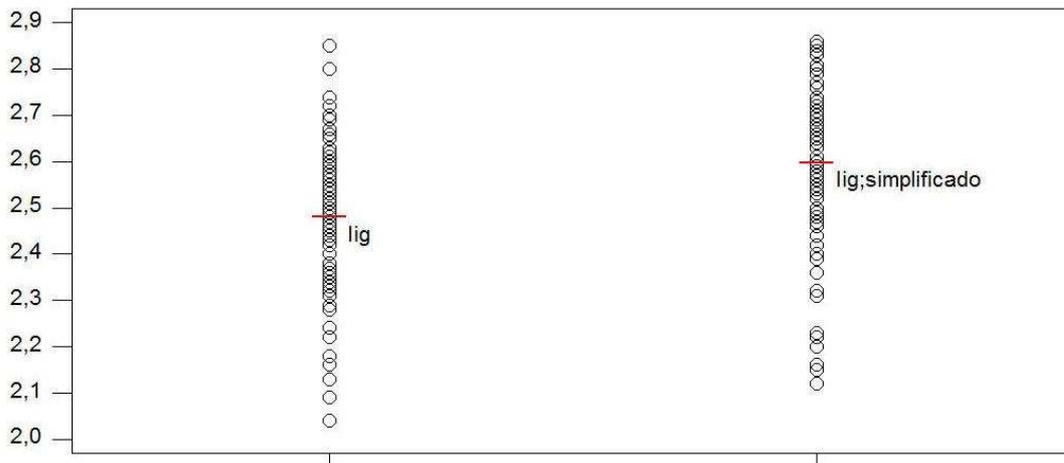


FIGURA 9.5 – Populações de I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$

Apesar da amostra dos fatores redutores de $f_{0(Rmean)}$ apresentar valor de 0,68 (Catanduva), correspondendo uma diminuição da influência da precipitação de 32%, os maiores valores de variação de I_{ig} para $I_{ig;simplicado}$ são das cidades de Catanduva (11,9%) e Franca (11,6%). Isto mostra que a eliminação deste fator redutor, não implica em grandes alterações no índice de agressividade da localidade. A Figura 9.6 mostra a distribuição de frequência absoluta dos valores de variação.

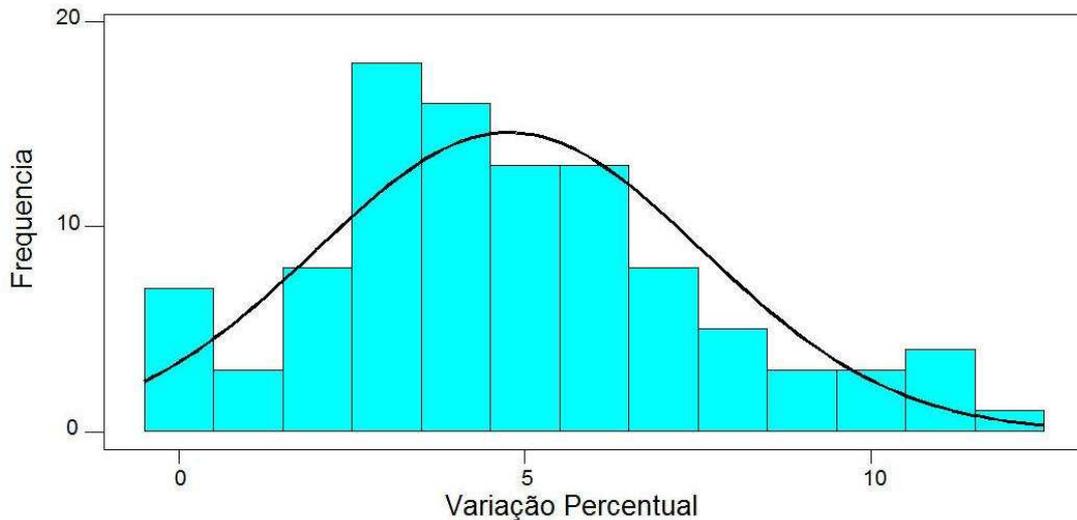


FIGURA 9.6 – Histograma de frequência absoluta da variação de I_{ig} para $I_{ig,simplificado}$

Para verificar se a proposta feita de simplificação, faz-se necessário observar se existe correlação entre os valores do modelo atual e do modelo simplificado. As Figuras 9.7 e 9.8 mostram a regressão e o resíduos da regressão para entre I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$, respectivamente. O valor do r^2 – coeficiente de determinação³ para esta regressão é de 83,3%.

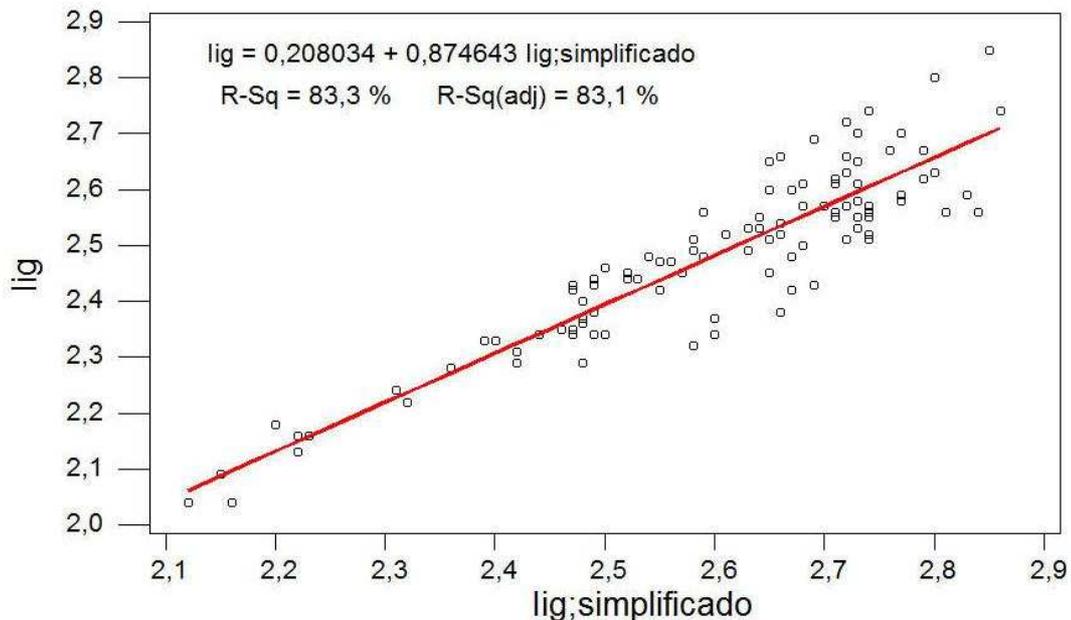


FIGURA 9.7 – Regressão I_{ig} x $I_{ig,simplificado}$

³ Segundo Anderson et al. (2002), o coeficiente de determinação (r^2) pode ser expresso como porcentagem, sendo interpretado como o percentual da soma dos quadrados que pode ser explicado usando a regressão proposta, variando de 0 a 1, (ou também de 0% a 100%).

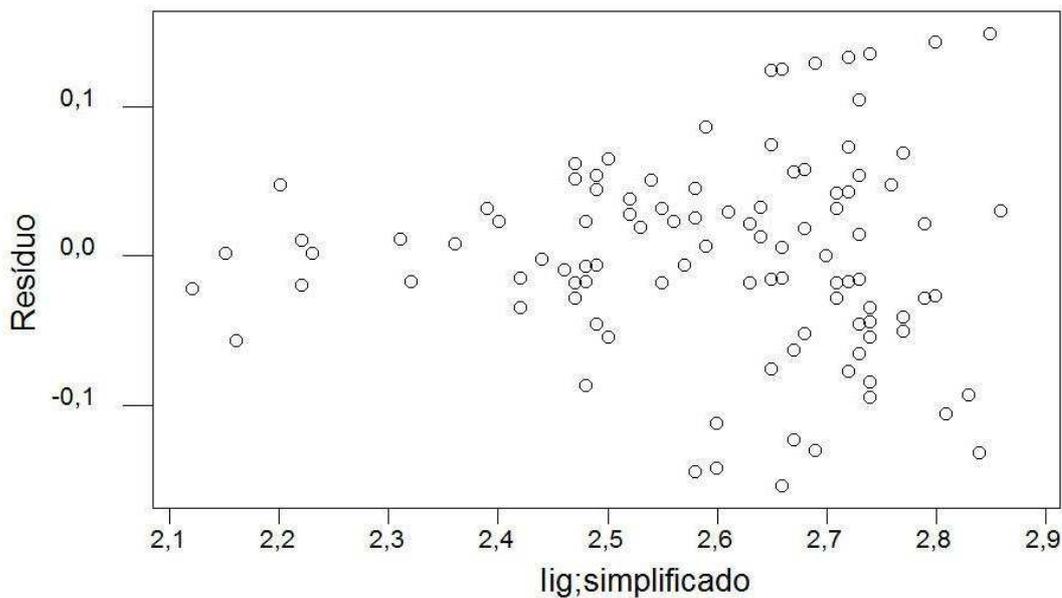


FIGURA 9.8 – Resíduos x $I_{ig,simplificado}$

Pela Figura 9.8 observa-se que a correlação entre I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ não apresenta independência dos erros⁴ em função de $I_{ig,simplificado}$. Esta característica pode ser explicada considerando que para um mesmo valor do fator de redução $(1 - N_{dm}/6)$, a diferença entre o valor de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ aumenta proporcionalmente a esta segunda variável.

Adotando a mesma classificação de agressividade proposta por Leicester *et al.* (2003), a Tabela 9.3 mostra a distribuição de $I_{ig,simplificado}$

TABELA 9.3 – Índice Climático representativo para quatro classes de agressividade

Região de apodrecimento	I_{ig} Representativo	Numero de cidades
A	0,5	0
B	1,5	0
C	2,5	28
D	3,0	74

A Tabela 9.4 mostra a estatística descritiva para os índices climatológicos das populações de $I_{ig,simplificado}$.

⁴ Levine *et al.* (2000) descreve como independência dos erros a características que os resíduos observados são independentes para cada valor de "X";

TABELA 9.4 – Estatística descritiva dos parâmetros das populações de $I_{ig;simplicado}$

Estatística	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	
	$I_{ig<2,50}$	$I_{ig>2,50}$	$I_{ig<2,50}$	$I_{ig>2,50}$
Média	20,8	23,3	1393	1465
Mínimo	15,1	21,3	1167	1165
Máximo	22,2	25,7	1726	2514

As Figuras 9.9 à 9.12 mostram os histogramas de frequência absoluta das variáveis temperatura e precipitação para as populações de $I_{ig;simplicado<2,50}$ e $I_{ig;simplicado>2,50}$.

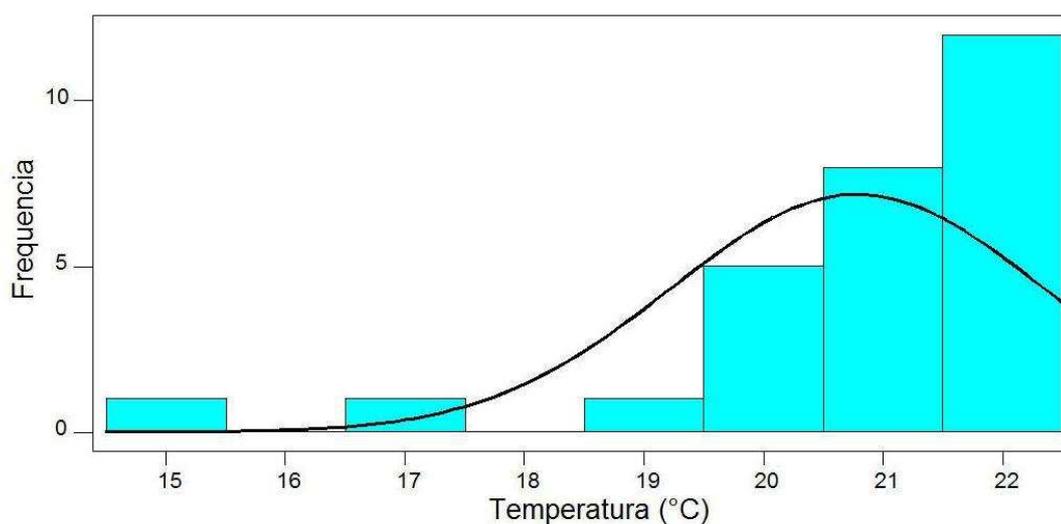


FIGURA 9.9 – Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig;simplicado<2,50}$

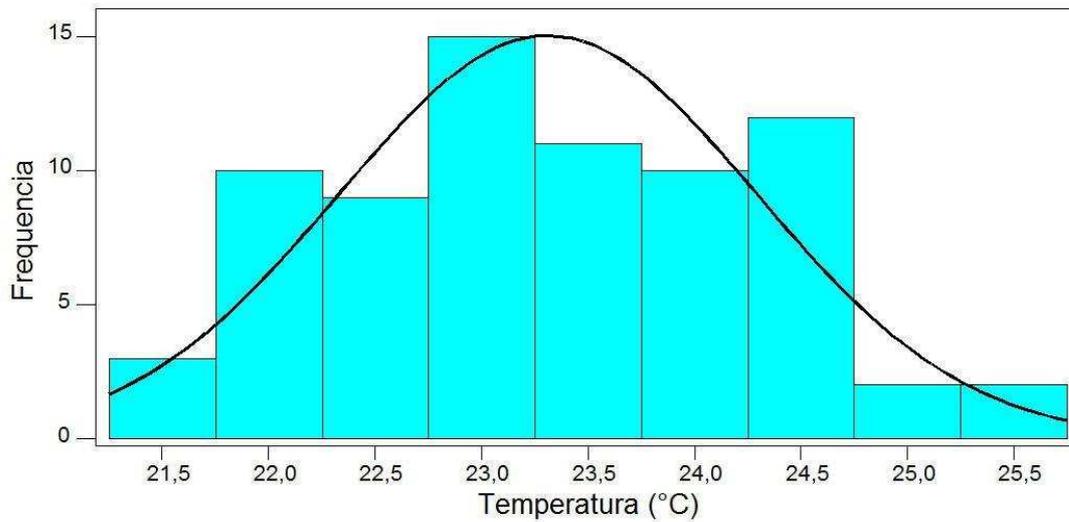


FIGURA 9.10 – Histograma de frequência absoluta das temperaturas para $I_{ig:simplificado>2,50}$

Observa-se que os valores de temperatura para $I_{ig:simplificado<2,50}$ estão entre o intervalo de 15 °C e 22 °C, enquanto par $I_{ig:simplificado>2,50}$ estão distribuídos entre 21,5° e 25,5 °C.

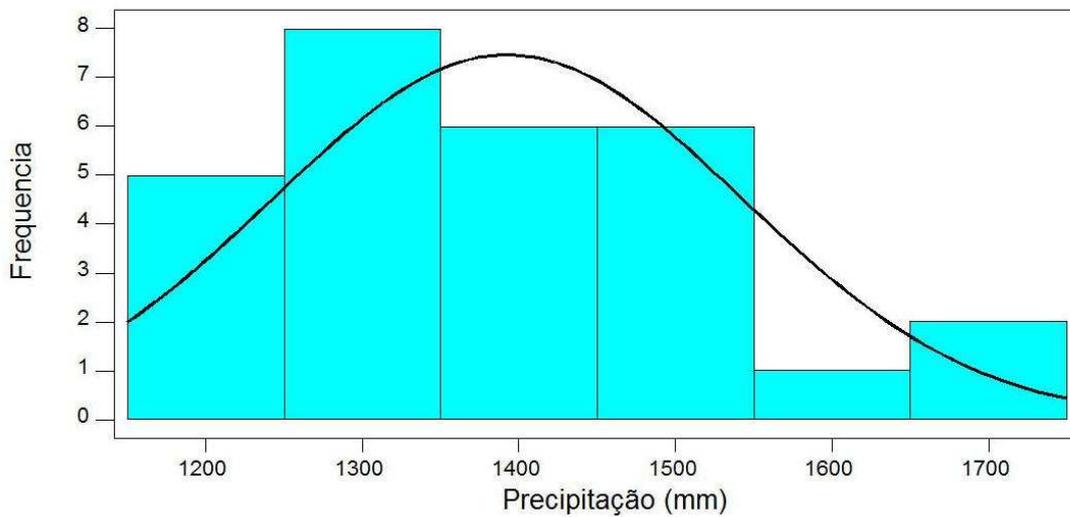


FIGURA 9.11 – Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig:simplificado<2,50}$

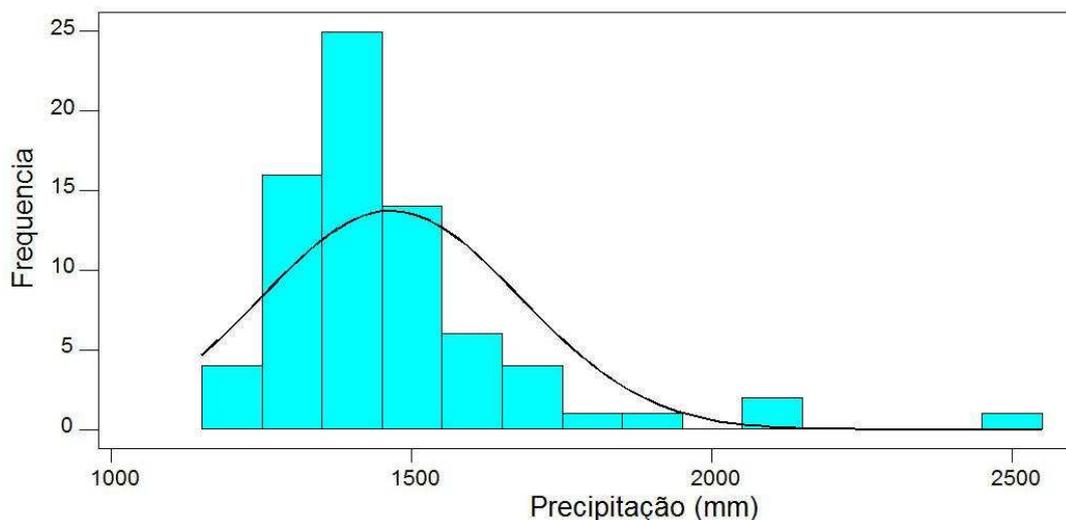


FIGURA 9.12 – Histograma de frequência absoluta das precipitações para $I_{ig,simplificado>2,50}$

Pode-se observar que o limite inferior dos valores de precipitações para $I_{ig,simplificado<2,50}$ e $I_{ig,simplificado>2,50}$ estão próximos aos 1200 mm. Entretanto para os limites superiores são diferentes.

Ao se realizar o teste de normalidade nas populações de temperatura e precipitação para $I_{ig,simplificado<2,50}$ e $I_{ig,simplificado>2,50}$, obteve-se os dados apresentados nas Tabelas 9.5 e 9.6, para $\alpha = 0,01$.

TABELA 9.5 – Teste de normalidade variáveis de $I_{ig,simplificado<2,50}$

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	28	0,312	0,164	Não Rejeitar
Precipitação	28	0,312	0,113	Não Rejeitar

TABELA 9.6 – Teste de normalidade variáveis de $I_{ig,simplificado>2,50}$

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	74	0,189	0,060	Não Rejeitar
Precipitação	74	0,189	0,116	Não Rejeitar

Observa-se que não se pode rejeitar a hipótese H_0 para nenhum dos testes realizados.

As Figuras 9.13 à 9.16, mostram os testes de normalidade, respectivamente.

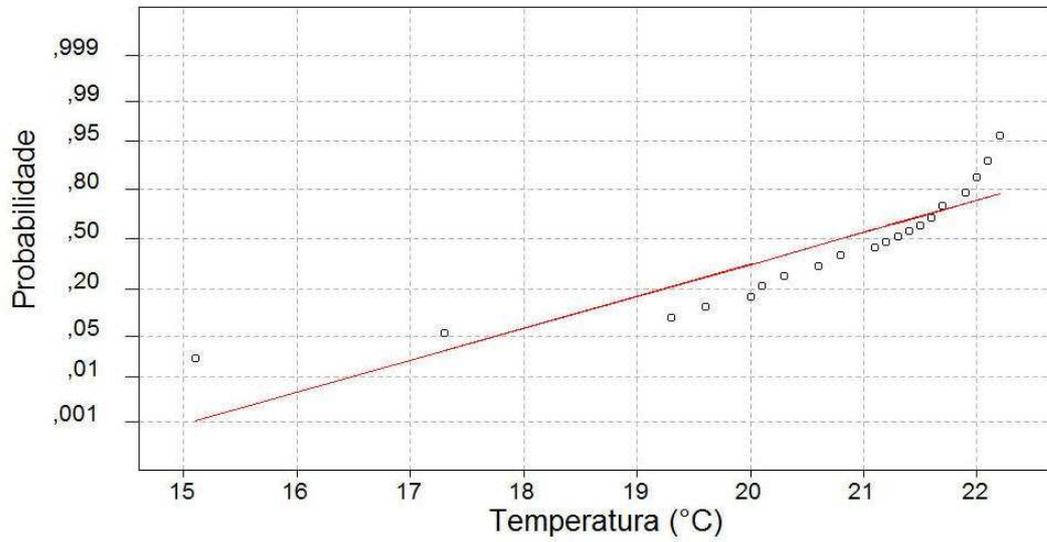


FIGURA 9.13 – Teste de normalidade para temperatura de $I_{g,simplificado} < 2,50$

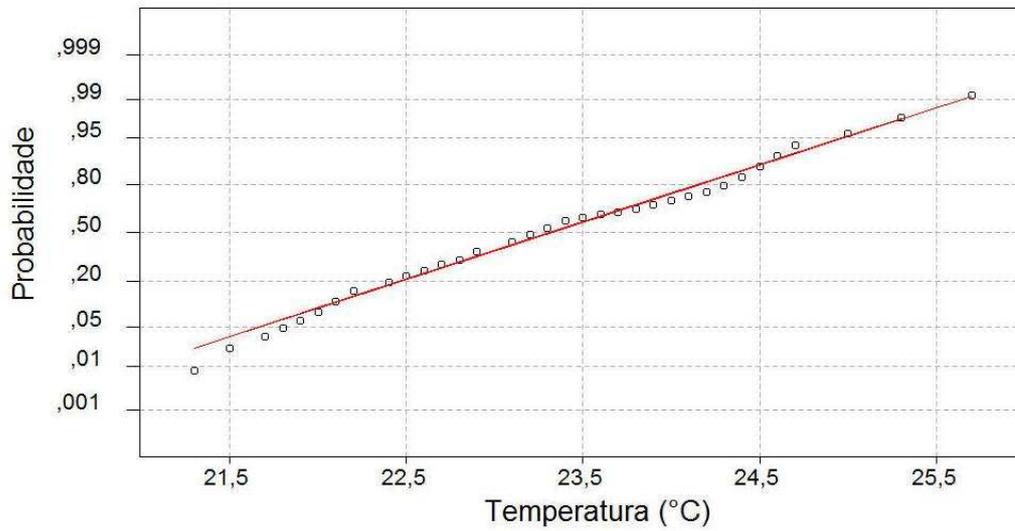
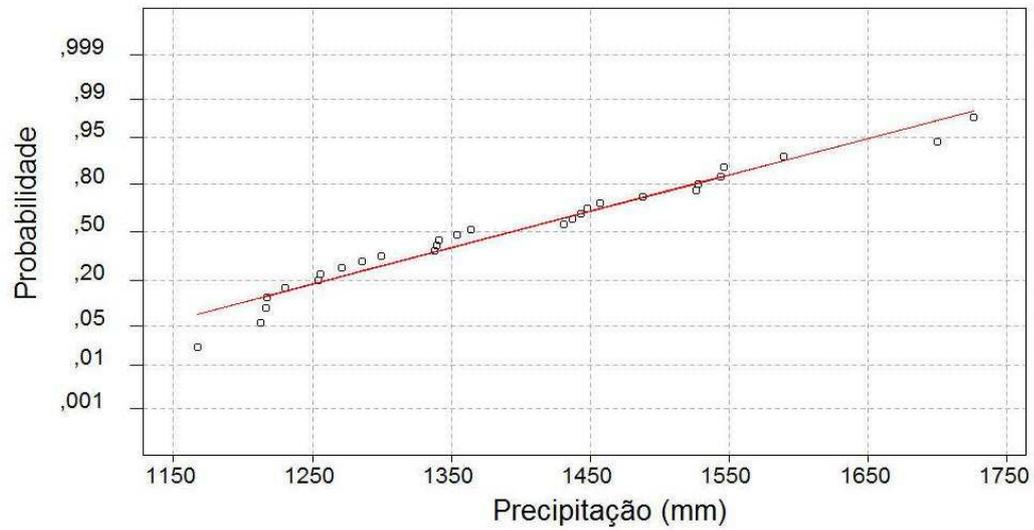
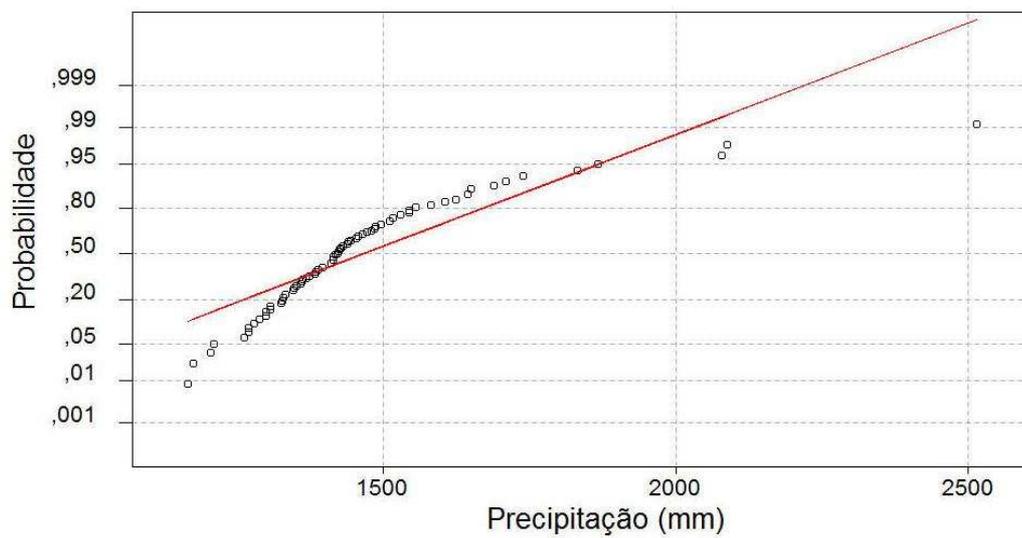


FIGURA 9.14 – Teste de normalidade para temperatura de $I_{g,simplificado} > 2,50$



**FIGURA 9.15 – Teste de normalidade
para precipitação de $I_{ig,simplificado} < 2,50$**



**FIGURA 9.16 – Teste de normalidade
para precipitação de $I_{ig,simplificado} > 2,50$**

9.3 Teste de hipótese para $I_{ig; simplificado}$ e variáveis (Teste-F)

Inicialmente realiza-se o teste-F para identificar se é possível dizer se as duas populações I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ são iguais. Assim, para $\alpha = 0,05$ tem-se

- **Teste-F I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$**

H_0 : as variâncias de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ são iguais

H_1 : as variâncias de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ não são iguais.

F_{obtido} : 1,087

$F_{crítico}$: 1,389

Valor p: 0,338

Conclusão: não rejeitar H_0

Ver Figura 9.5

Pelo teste acima, verifica-se a existência de evidências estatísticas de que as populações de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ são iguais.

Conforme anteriormente, é realizado o teste-F entre as populações de temperatura e precipitação, verificando se as populações destes parâmetros diferem em $I_{ig; simplificado}$, dividindo-as novamente em duas populações; cidades com $I_{ig; simplificado}$ menor que 2,50 ($I_{ig; simplificado} < 2,50$) e cidades com $I_{ig; simplificado}$ maior que 2,50 ($I_{ig; simplificado} > 2,50$). Desta forma para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) têm-se:

- **Teste-F para temperatura**

H_0 : as variâncias das temperaturas de $I_{ig; simplificado} < 2,50$ e $I_{ig; simplificado} > 2,50$ são iguais

H_1 : as variâncias das temperaturas de $I_{ig; simplificado} < 2,50$ e $I_{ig; simplificado} > 2,50$ não são iguais.

F_{obtido} : 2,517

$F_{crítico}$: 1,639

Valor p: 0,001

Conclusão: rejeitar H_0

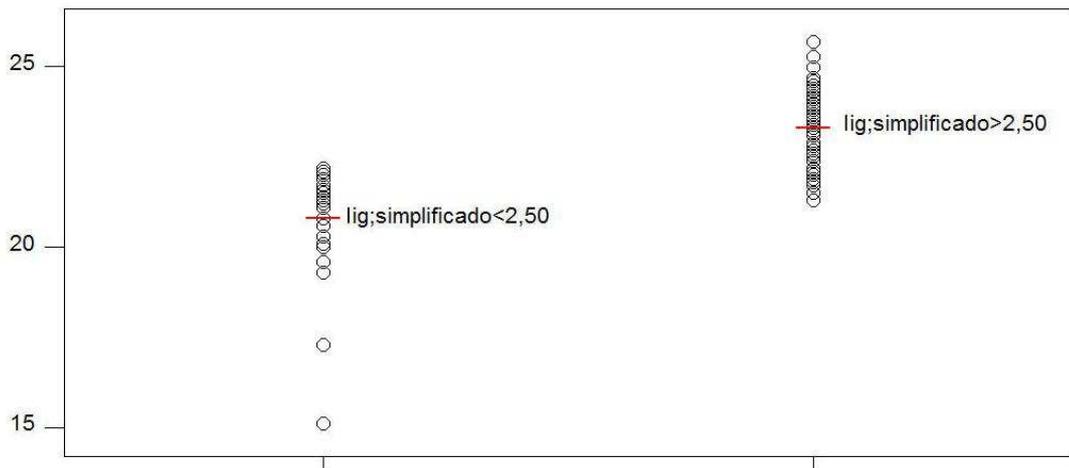


FIGURA 9.17 – Populações de temperatura para $I_{ig:simplificado<2,50}$ e $I_{ig:simplificado>2,50}$

• **Teste-F para precipitação**

H_0 : a variância das precipitação de $I_{ig:simplificado<2,50}$ e $I_{ig:simplificado>2,50}$ são iguais

H_1 : a variância da precipitação de $I_{ig:simplificado<2,50}$ e $I_{ig:simplificado>2,50}$ não são iguais.

F_{obtido} : 2,062

$F_{critico}$: 1,766

Valor p: 0,019

Conclusão: rejeitar H_0

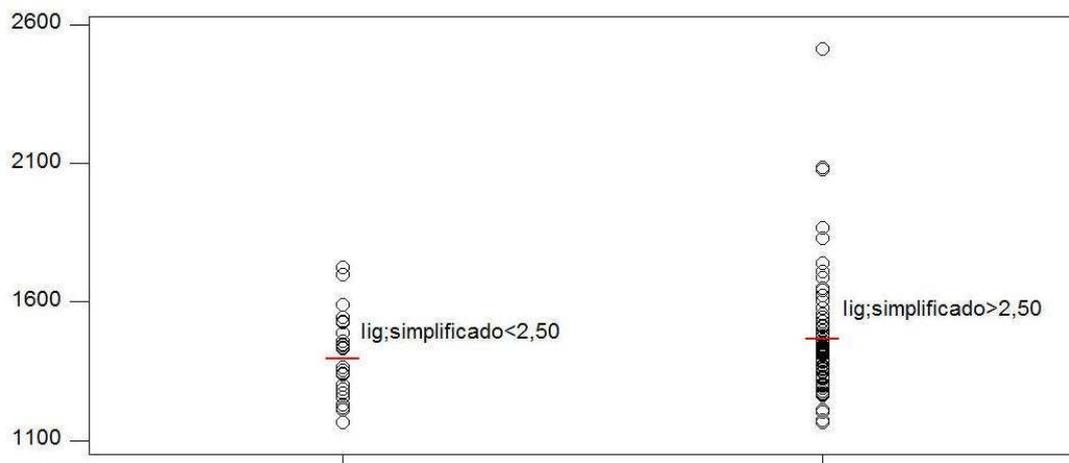


FIGURA 9.18 – Populações de precipitação para $I_{ig:simplificado<2,50}$ e $I_{ig:simplificado>2,50}$

Não existe evidências estatísticas que as populações de temperatura e precipitação são iguais para as populações $I_{ig:simplificado<2,50}$ e $I_{ig:simplificado>2,50}$.

Conclui-se que a retirada da variável N_{dm} do modelo proposto por Leicester, não influenciou as variáveis temperatura e precipitação, na determinação do índice de agressividade, visto que a população dos valores destas variáveis, continuam sendo distintas para $I_{ig;simplificado} < 2,50$ e $I_{ig;simplificado} > 2,50$, **para o conjunto de dados estudados.**

9.4 Identificação das cidades de menores e maiores agressividades segundo

$I_{ig;simplificado}$

As Tabelas 9.7 e 9.8 mostram os valores dos dados climatológicos e do *Índice Climático* das dez cidades paulistas mais agressivas e para as dez menos agressivas para madeira em contato com o solo em função do $I_{ig;simplificado}$ respectivamente.

TABELA 9.7 – Cidades menos agressivas à madeira no Estado de São Paulo, pelo modelo simplificado

Cidade	$T_{média}$ (°C)	Prec.-média (mm)	$I_{ig;simplificado}$
Campos do Jordão	15,1	1726	2,12
Ibiúna	19,3	1254	2,15
São Roque	20,0	1230	2,16
Itararé	17,3	1700	2,20
Vargem	20,1	1341	2,22
Piedade	19,6	1448	2,22
Capão Bonito	20,1	1364	2,23
Bragança Paulista	20,6	1339	2,31
São Pedro	20,3	1546	2,32
Itatiba	20,6	1488	2,36

As Figuras 9.19 e 9.20 mostram em forma de diagramas os dados das Tabela 8.9.

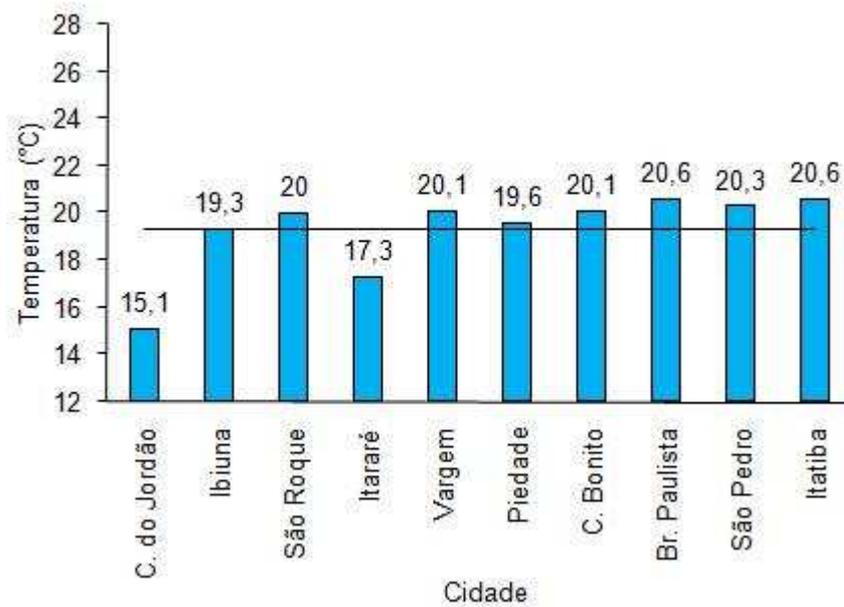


FIGURA 9.19 – Diagrama de temperatura das dez cidades de menor $I_{ig,simplificado}$

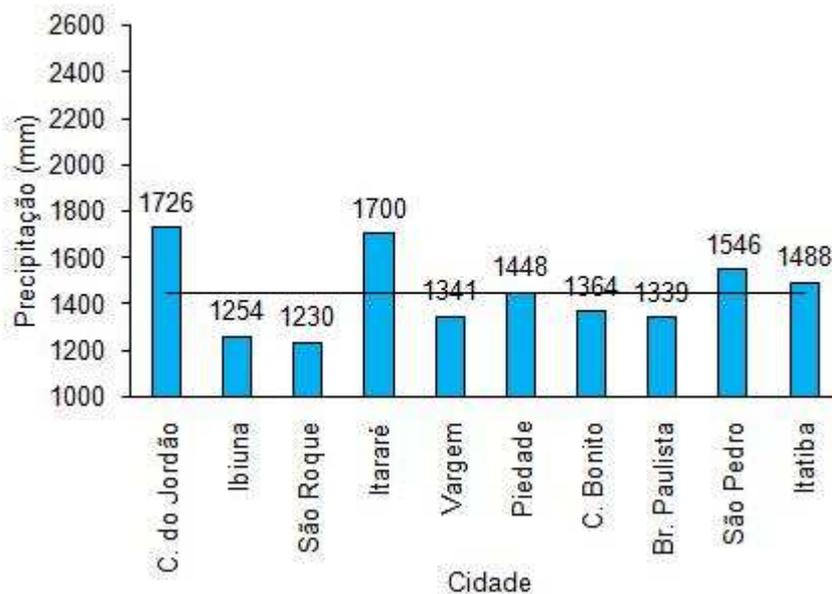


FIGURA 9.20 – Diagrama de precipitação das dez cidades de menor $I_{ig,simplificado}$

Análise da Tabela 9.7

- Média de temperatura das cidades menos agressivas: 19,3 °C (sem variação em relação ao modelo inicial);
- Média da precipitação das cidades menos agressivas: 1444 mm (sem variação em relação ao modelo inicial).;

TABELA 9.8 – Cidades mais agressivas à madeira no Estado de São Paulo, pelo modelo simplificado

Cidade	T _{média} (°C)	Prec. _{média} (mm)	I _{ig,simplificado}
Pedrinhas Paulista	23,4	1688	2,77
Mirandópolis	25,3	1268	2,79
Penápolis	24,5	1421	2,79
Araçatuba	24,6	1424	2,80
Santos	22,9	2087	2,80
Guaira	23,9	1644	2,81
São José do Rio Preto	25,0	1417	2,83
Barretos	24,7	1510	2,84
Ubatuba	22,9	2514	2,85
Oswaldo Cruz	25,7	1359	2,86

As Figuras 9.21 e 9.22 mostram em forma de diagramas os dados das Tabela 9.8.

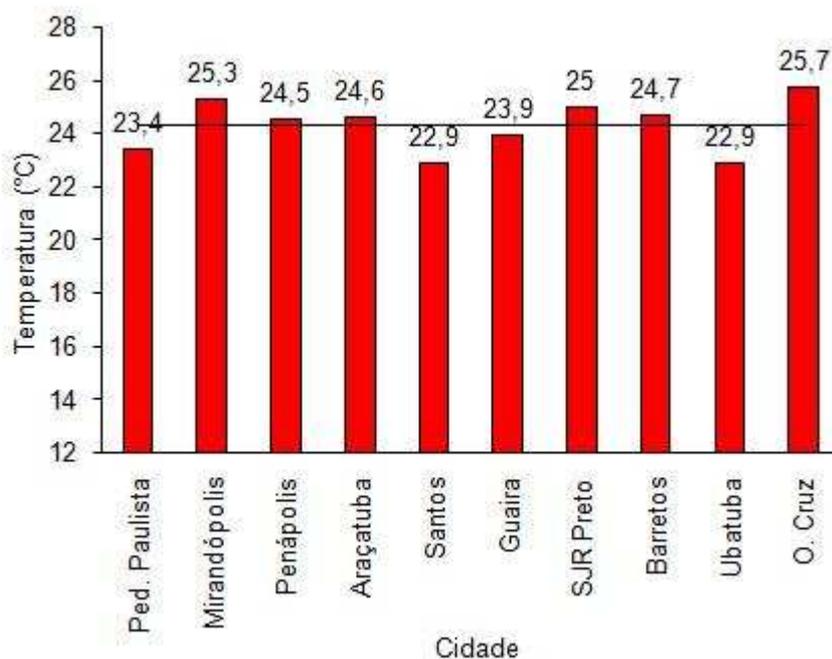


FIGURA 9.21 – Diagrama de temperatura das dez cidades de maior I_{ig,simplificado}

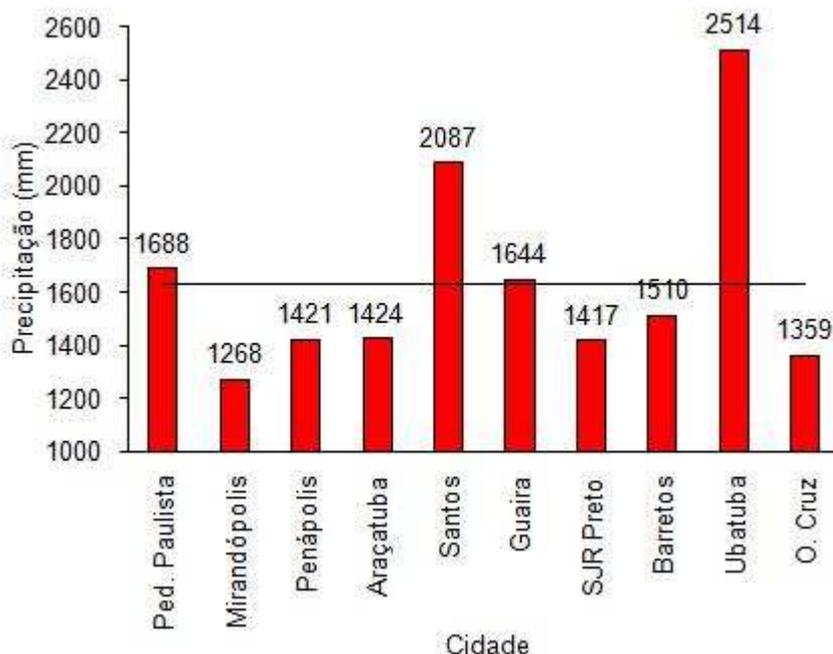


FIGURA 9.22 – Diagrama de precipitação das dez cidades de maior $I_{ig,simplificado}$

Análise da Tabela 9.8

- *Todas as cidades de maior I_{ig} possuem temperatura média anual maior ou igual a 22,9°C (valor anterior: 22,4 °C);*
- *Média de temperatura das cidades mais agressivas: 24,3°C (valor anterior: 23,4 °C);*
- *Média da precipitação das cidades mais agressivas: 1633 mm (valor anterior: 1784 mm);*

A Tabela 9.9, realiza comparações entre as dez cidades de menores valores de $I_{ig,simplificado}$, e as dez cidades de cada variável (T – temperatura; P – precipitação) de menores valores, respectivamente.

TABELA 9.9 – Comparação de $I_{ig,simplificado}$ e parâmetros menos agressivos

Cidade	$I_{ig,simplificado}$	Cidade	T	Cidade	P
C. do Jordão	2,12	C. do Jordão	15,1	Echaporã	1165
Ibiúna	2,15	Itararé	17,3	Capivari	1167
São Roque	2,16	Ibiúna	19,3	Buritama	1174
Itararé	2,20	Piedade	19,6	Ilha Solteira	1204
Vargem	2,22	São Roque	20,0	Catanduva	1210
Piedade	2,22	Vargem	20,1	Sorocaba	1212
Capão Bonito	2,23	Capão Bonito	20,1	Tietê	1216
Brag.Paulista	2,31	São Pedro	20,3	Sumaré	1217
São Pedro	2,32	Brag.Paulista	20,6	São Roque	1230
Itatiba	2,36	Itatiba	20,6	Ibiúna	1254

Análise da Tabela 9.9:

- *Temperatura: as dez cidades com menores valores de temperatura correspondem às cidades de menores valores de $I_{ig,simplificado}$;*
- *Precipitação: apenas duas cidades (São Roque e Ibiúna) são cidades de menores valores de precipitações e com menores valores de I_{ig} ;*

A Tabela 9.10 realiza a mesma comparação, porém para as cidades mais agressivas.

TABELA 9.10 – Comparação de $I_{ig,simplificado}$ e parâmetros mais agressivos

Cidade	$I_{ig,simplificado}$	Cidade	T	Cidade	P
Pedr.Paulista	2,77	Auriflama	24,5	Pedr.Paulista	1688
Mirandópolis	2,79	Penápolis	24,5	Itararé	1700
Penápolis	2,79	Andradina	24,6	Registro	1709
Araçatuba	2,80	Tupi Paulista	24,6	C. do Jordão	1726
Santos	2,80	Araçatuba	24,6	Pariquera-Açu	1739
Guaira	2,81	Barretos	24,7	Taquaritinga	1831
S.J.Rio Preto	2,83	Ilha Solteira	25,0	Jacupiranga	1866
Barretos	2,84	S.J.Rio Preto	25,0	Cananéia	2079
Ubatuba	2,85	Mirandópolis	25,3	Santos	2087
Oswaldo Cruz	2,86	Oswaldo Cruz	25,7	Ubatuba	2514

Análise da Tabela 9.10:

- *Temperatura: seis cidades (Penápolis, Araçatuba, Barretos, São José do Rio Preto, Mirandópolis e Oswaldo Cruz) com maiores valores de temperatura correspondem às*

idades de menores valores de $I_{ig;simplicado}$, todas com temperatura média igual ou maior que 25 °C;

- *Precipitação: três cidades (Pedrinhas Paulistas, Santos e Ubatuba) são cidades de maiores valores de precipitações e com maiores valores de $I_{ig;simplicado}$;*

9.4.1 Teste de hipótese para as cidades de menores e maiores agressividades

No intuito de identificar se as população de temperatura e precipitação das cidades de maior agressividade e menor agressividade foram alteradas, realiza-se o teste- F entre estas populações I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$, para $\alpha = 0,05$.

- **Teste- F para temperatura das cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$**

H_0 : a variância das temperaturas das cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$ são iguais;

H_1 : a variância das temperaturas das cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$ não são iguais;

F_{obtido} : 1,000

$F_{critico}$: 3,179

Valor p : 0,500

Conclusão: não rejeitar H_0

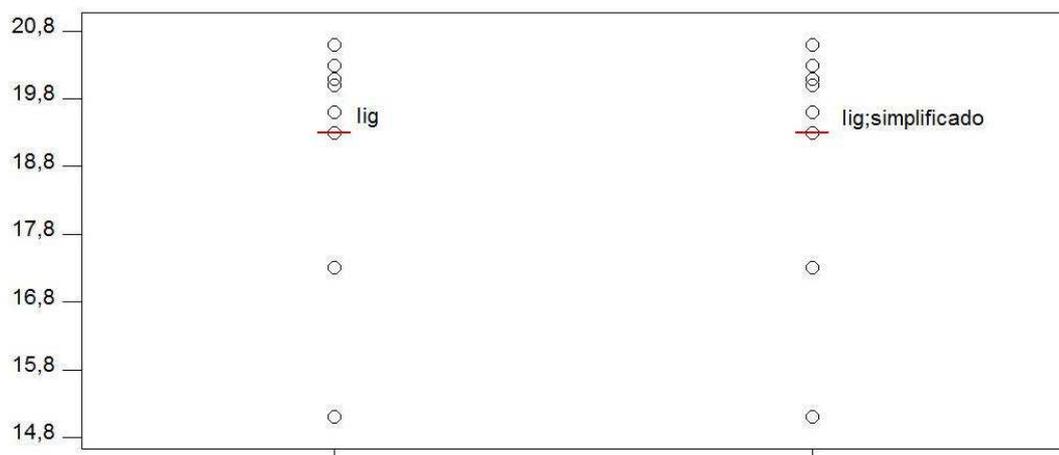


FIGURA 9.23 – Populações de temperatura para as dez cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$

- **Teste- F para temperatura das cidades de maiores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$**

H_0 : a variância das temperaturas das cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$ são iguais;

H_1 : a variância das temperaturas das cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$ não são iguais;

F_{obtido} : 1,363

$F_{critico}$: 3,179

Valor p : 0,326

Conclusão: não rejeitar H_0

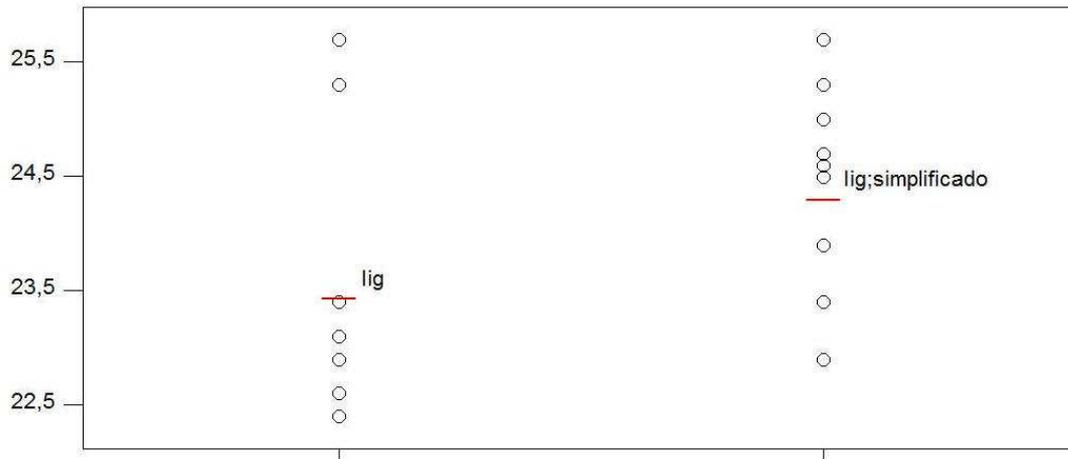


FIGURA 9.24 – Populações de temperatura para as dez cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$

• **Teste-F para precipitação das cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$**

H_0 : a variância das precipitações das cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ são iguais;

H_1 : a variância das precipitações das cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ não são iguais;

F_{obtido} : 1,000

$F_{crítico}$: 3,179

Valor p: 0,500

Conclusão: não rejeitar H_0

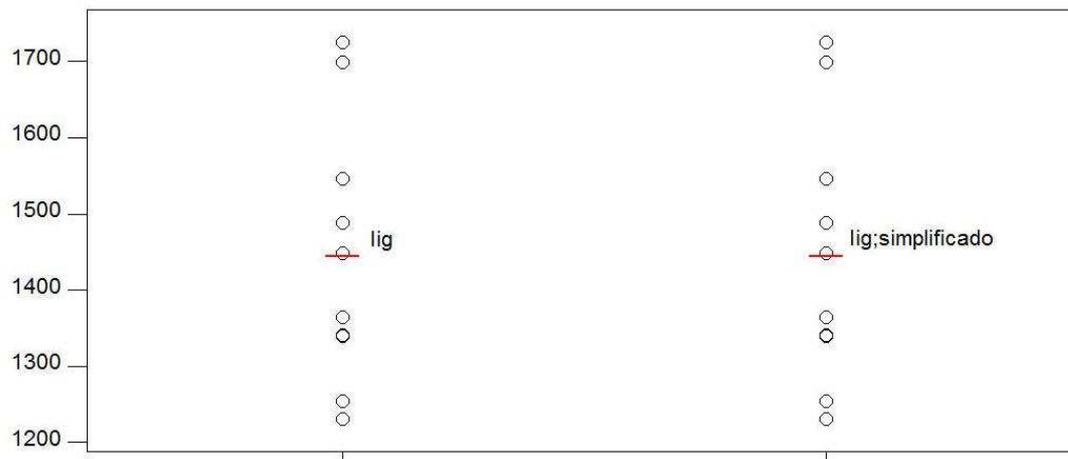


FIGURA 9.25 – Populações de precipitação para as dez cidades de menores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$

• **Teste-F para precipitação das cidades de maiores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$**

H_0 : a variância das precipitações das cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ são iguais;

H_1 : a variância das precipitações das cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ não são iguais;

F_{obtido} : 0,910

$F_{crítico}$: 3,179

Valor p: 0,446

Conclusão: não rejeitar H_0

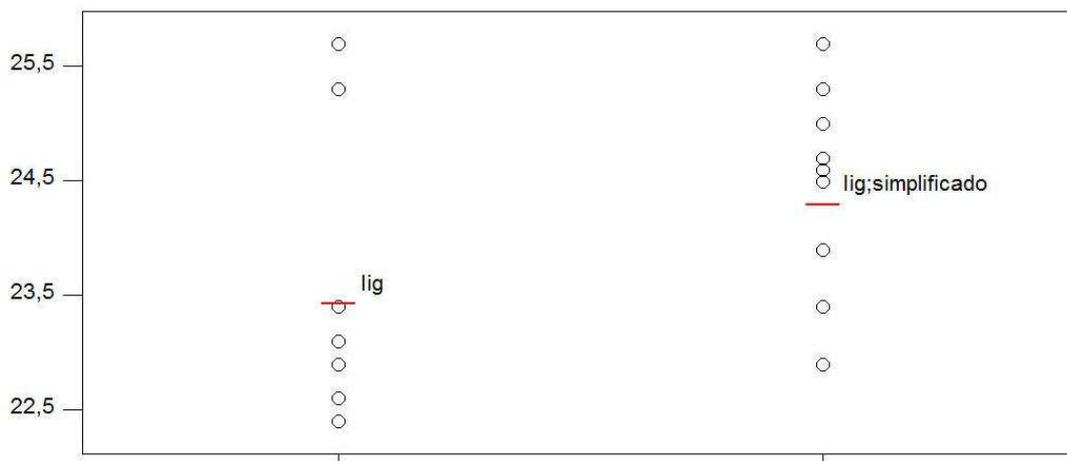


FIGURA 9.26 – Populações de precipitação para as dez cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$

Não existe evidências estatísticas que indiquem diferença nas populações de temperatura e precipitação para as cidades de menores e maiores agressividade, segundo I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$.

Pode-se perceber que as populações de temperatura e precipitação para as cidades menos agressivas são idênticas, Figuras 9.23 e 9.25. A Tabela 9.11 mostra que as mesmas dez cidades de menor I_{ig} são as de $I_{ig,simplificado}$, porém de ordem crescente diferente.

TABELA 9.11 – Cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$

Cidade	I_{ig}	Cidade	$I_{ig,simplificado}$
Campos do Jordão	2,04	Campos do Jordão	2,12
São Roque	2,04	Ibiuna	2,15
Ibiuna	2,09	São Roque	2,16
Vargem	2,13	Itararé	2,20
Piedade	2,16	Vargem	2,22
Capão Bonito	2,16	Piedade	2,22
Itararé	2,18	Capão Bonito	2,23
São Pedro	2,22	Bragança Paulista	2,31
Bragança Paulista	2,24	São Pedro	2,32
Itatiba	2,28	Itatiba	2,36

Entretanto as populações de temperatura e precipitação não são idênticas, apesar de não haver evidência estatística que estas sejam diferentes. A Tabela 9.12 mostra que apenas 5 das dez cidades de maiores $I_{ig,simplificado}$ também estão entre as 10 de maiores I_{ig} . Esta diferença entre as cidades de maiores agressividades nos dois modelos é a causa da não independência de erro identificada na regressão entre I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$, Figuras 9.7 e 9.8.

TABELA 9.12 – Cidades de menores valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$

Cidade	I_{ig}	Cidade	$I_{ig; simplificado}$
S. J. Rio Pardo	2,67	Pedrinhas Paulista	2,77
Mirandópolis	2,67	Mirandópolis	2,79
Registro	2,69	Penápolis	2,79
Jacupiranga	2,70	Araçatuba	2,80
Pedrinhas Paulista	2,70	Santos	2,80
Sete Barras	2,72	Guaira	2,81
Oswaldo Cruz	2,74	S.J.Rio Preto	2,83
Cananeia	2,74	Barretos	2,84
Santos	2,80	Ubatuba	2,85
Ubatuba	2,85	Oswaldo Cruz	2,86

Assim faz-se necessário verificar se os valores de $I_{ig; simplificado}$ são diferentes dos I_{ig} das dez cidades de maiores valores para este último. A Tabela 9.13, compara os valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$, para as dez cidades de maiores valores de I_{ig} .

TABELA 9.13 – Comparação entre os valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$

Cidade	I_{ig}	$I_{ig; simplificado}$
S. J. Rio Pardo	2,67	2,52
Mirandópolis	2,67	2,79
Registro	2,69	2,69
Jacupiranga	2,70	2,73
Pedrinhas Paulista	2,70	2,77
Sete Barras	2,72	2,72
Oswaldo Cruz	2,74	2,86
Cananeia	2,74	2,74
Santos	2,80	2,80
Ubatuba	2,85	2,85

• **Teste-F para valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$**

H_0 : a variância dos valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ são iguais;

H_1 : a variância dos valores de I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ não são iguais;

F_{obtido} : 2,799

$F_{crítico}$: 3,179

Valor p: 0,071

Conclusão: não rejeitar H_0

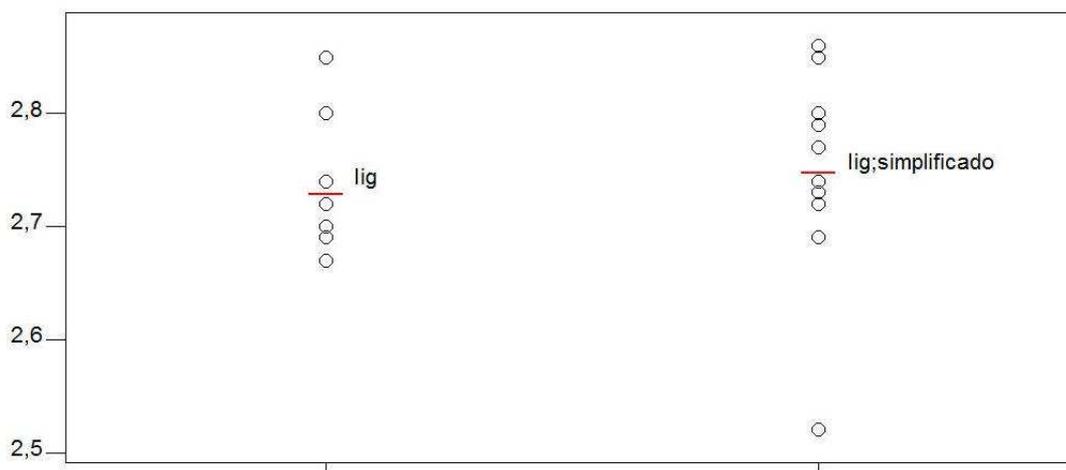


FIGURA 9.27 – Populações dos maiores dos dez maiores valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$

Pelo teste, verifica-se que não existe evidências estatísticas que a população dos 10 maiores valores de I_{ig} , e assim a agressividade destas dez cidades foi alterada ao se determinar a agressividade através de $I_{ig;simplificado}$.

9.5 Análise de regressões

Realizando-se uma regressão entre os valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as dez cidades mais agressivas segundo I_{ig} , obtem-se um baixo valor do coeficiente de determinação, $r^2 = 36,6\%$.

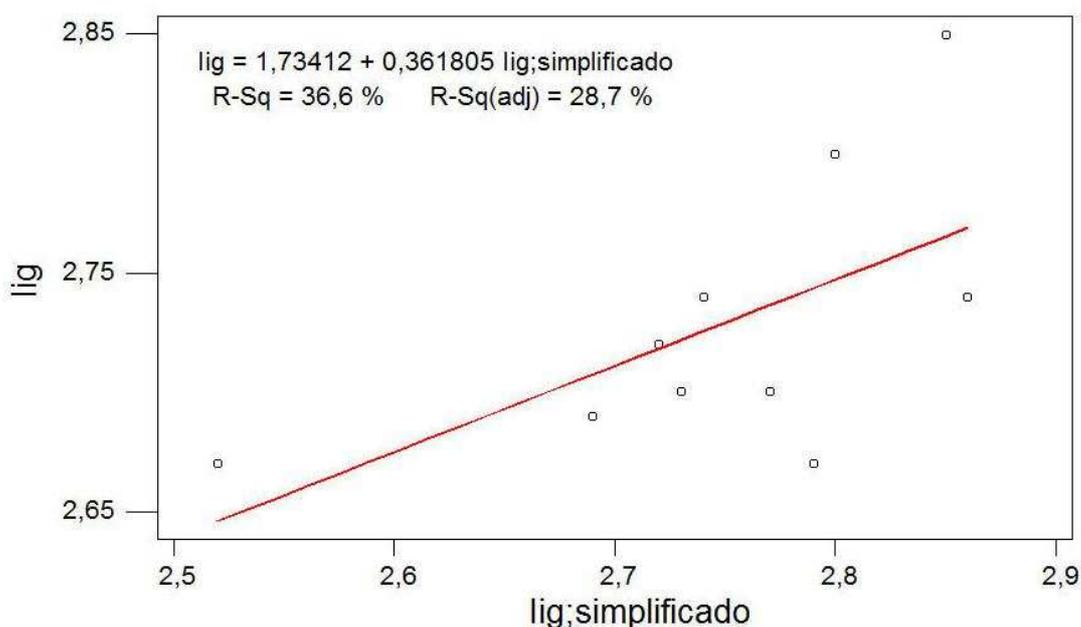


FIGURA 9.28 – Regressão entre I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as cidades de maiores valores de I_{ig}

Entretanto, a regressão entre os valores de I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as dez cidades menos agressivas segundo I_{ig} , obtém-se um alto valor do coeficiente de determinação, $r^2 = 95,5\%$.

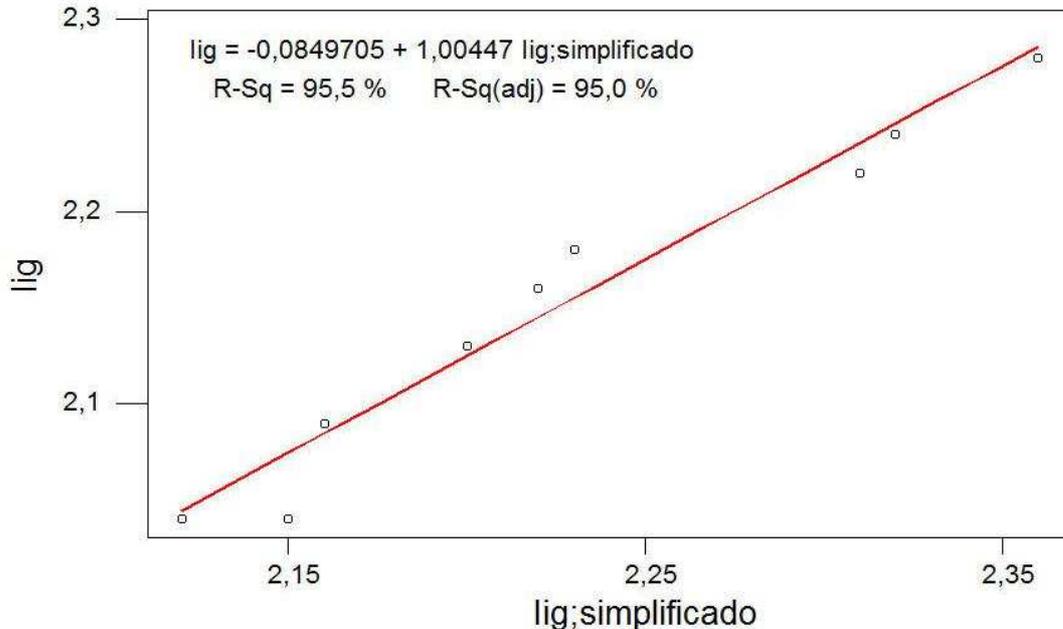


FIGURA 9.29 – Regressão entre I_{ig} e $I_{ig;simplificado}$ para as cidades de menores valores de I_{ig}

Sendo a equação da reta é dada por:

$$y = a + b \cdot x \quad (9.5)$$

para que os valores da abscissa (x) sejam iguais aos da ordenada (y), é necessário que o coeficiente linear (a) seja nulo, e que o valor do coeficiente angular (b) seja igual a 1, conforme a Equação 9.6.

$$y = 0 + 1 \cdot x \quad (9.6)$$

Quão maior em módulo for o valor do coeficiente linear (a) e do coeficiente angular (b), maior é a distância da reta à identidade ($y = x$).

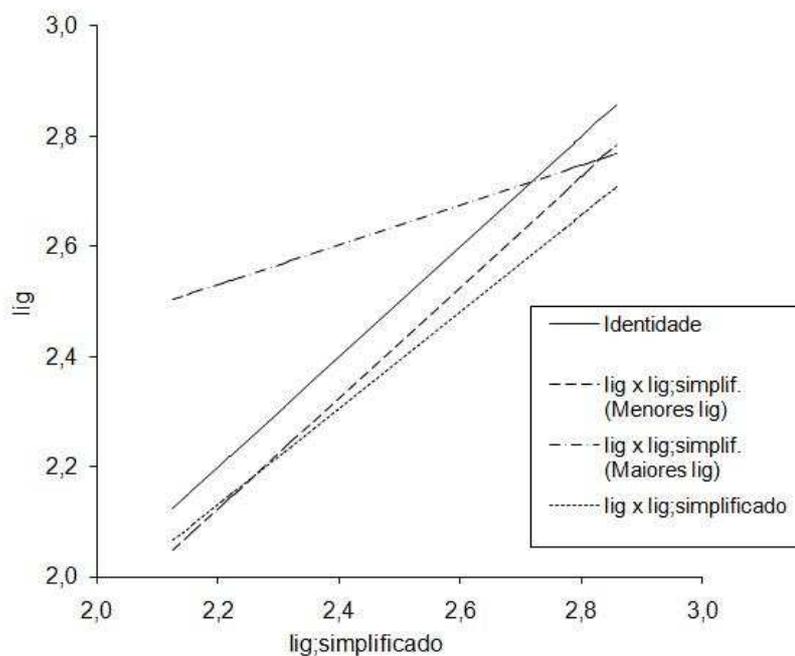
A Tabela 9.14 compara os valores dos coeficientes lineares e angulares da regressão realizadas anteriormente. Verifica-se aos valores dos coeficiente estão muito próximos aos valores para a identidade apenas para regressão dos menores valores I_{ig} ,

TABELA 9.14 – Valores dos coeficiente das regressões I_{ig} x $I_{ig,simplificado}$

Regressão	Coeficiente		r^2
	Linear (a)	Angular (b)	
I_{ig} x $I_{ig,simplificado}$	0,208034	0,874643	83,3%
I_{ig} x $I_{ig,simplificado}$ (maiores I_{ig})	1,73412	0,3621805	36,6%
I_{ig} x $I_{ig,simplificado}$ (menores I_{ig})	- 0,0849705	1,00447	95,5%

Pode-se concluir que a retirada do termo redutor através da variável N_{dm} (meses secos), a população de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ não são significamente diferentes. Entretanto, quão maior for o valor de I_{ig} maior é a diferença entre os valores de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ obtidos. Pela Figuras 9.7 e 9.8, pode-se observar que até aproximadamente $I_{ig,simplificado}$ de 2,50, não existe grande dispersão de valores em torno da reta de regressão, porém acima deste valor a dispersão de dados em torno da reta de regressão é elevada.

Através da Figura 9.30, percebe-se que a correlação entre os menores valores de I_{ig} e os seus respectivos $I_{ig,simplificado}$, não é igual à reta identidade, entretanto é esta a correlação que mais se aproxima de um paralelismo com a reta identidade. Isto significa que a diferença entre I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ é praticamente constante. Na Figura 9.26 estão traçadas as regressões para comparação da inclinação destas com a reta identidade.

FIGURA 9.30 – Regressões de I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$

Aplicando a Equação 9.7, a qual é a regressão para os 10 menores valores de I_{ig} e os seus respectivos $I_{ig;simplicado}$, à todos os valores de $I_{ig;simplicado}$, obtem-se os I'_{ig} para todas as cidades, os quais são apresentados pela Tabela 9.15.

Para que a determinação da diferença entre os valores de I_{ig} obtidos pelo modelo inicial de Leicester (I_{ig}) e os obtidos pela regressão (I'_{ig}) possuam maior precisão, os valores deste, são apresentados com quatro casas decimais.

$$I'_{ig} = 1,00447 \times I_{ig;simplicado} - 0,0849705 \quad (9.7)$$

Subtraindo o valor de I'_{ig} de I_{ig} obtem-se o Erro (E) de estimativa, conforme a Eq. 9.8. Através destes é determinado o valor do Erro Médio (E_m) de estimativa, Eq. 9.9.

$$E = I_{ig} - I'_{ig} \quad (9.8)$$

$$E_m = \sum_{i=1}^n \frac{I_{ig} - I'_{ig}}{n} \quad (9.9)$$

TABELA 9.15 – Valores de I_{ig} e I'_{ig}

Cidade	I_{ig}	I'_{ig}	Erro (E)	
			Absoluto	Percentual
Adamantina	2,5658	2,6237	-0,0579	-2,3
Andradina	2,5642	2,6691	-0,1048	-4,1
Araçatuba	2,6311	2,7253	-0,0943	-3,6
Assis	2,4705	2,4739	-0,0034	-0,1
Auriflama	2,5309	2,6563	-0,1254	-5,0
Barretos	2,5579	2,7644	-0,2065	-8,1
Bauru	2,5645	2,6358	-0,0713	-2,8
Bebedouro	2,5149	2,6443	-0,1294	-5,1
Botucatu	2,3569	2,4020	-0,0452	-1,9
Bragança Paulista	2,2371	2,2343	0,0028	0,1
Buritama	2,5121	2,5802	-0,0681	-2,7
Campinas	2,4481	2,4994	-0,0514	-2,1
Campos do Jordão	2,0353	2,0491	-0,0138	-0,7
Cananeia	2,7409	2,6681	0,0727	2,7
Candido Mota	2,3821	2,4175	-0,0355	-1,5
Capão Bonito	2,1634	2,1511	0,0123	0,6
Capivari	2,2925	2,3473	-0,0547	-2,4
CONTINUA				

Cidade	I _{ig}	I _{ig} '	Erro (E)	
			Absoluto	Percentual
CONTINUAÇÃO				
Casa Branca	2,3386	2,5252	-0,1866	-8,0
Catanduva	2,3801	2,5902	-0,2101	-8,8
Echaporã – Fazenda Barion	2,4413	2,4460	-0,0047	-0,2
Eldorado	2,5435	2,5820	-0,0385	-1,5
Franca	2,3158	2,5101	-0,1943	-8,4
Guaira	2,5581	2,7351	-0,1770	-6,9
Ibirarema	2,4724	2,4878	-0,0154	-0,6
Ibiuna	2,0916	2,0715	0,0201	1,0
Iepê	2,4407	2,4179	0,0228	0,9
Ilha Solteira	2,5479	2,6601	-0,1122	-4,4
Ipaussu	2,4449	2,4592	-0,0143	-0,6
Itapetininga	2,3257	2,3129	0,0128	0,6
Itapeva	2,4607	2,4250	0,0356	1,4
Itararé	2,1768	2,1296	0,0471	2,2
Itararé – Delegacia Agricola	2,5578	2,5173	0,0405	1,6
Itatiba	2,2831	2,2820	0,0011	0,0
Jaboticabal	2,4759	2,5968	-0,1209	-4,9
Jacupiranga – SP	2,6987	2,6535	0,0452	1,7
Jales	2,5068	2,6683	-0,1616	-6,4
Jaú	2,4886	2,5553	-0,0667	-2,7
José Bonifácio	2,5228	2,6692	-0,1464	-5,8
Jundiaí	2,3508	2,3825	-0,0317	-1,3
Limeira	2,3380	2,4261	-0,0881	-3,8
Lins	2,5877	2,6942	-0,1066	-4,1
Manduri	2,4278	2,4182	0,0096	0,4
Maraci	2,5974	2,5931	0,0044	0,2
Marília	2,6172	2,6385	-0,0213	-0,8
Matão	2,5214	2,5901	-0,0687	-2,7
Miracatu	2,6569	2,5838	0,0731	2,8
Mirandópolis	2,6734	2,7146	-0,0412	-1,5
Mirante do Paranapanema	2,5662	2,6058	-0,0396	-1,5
Mococa	2,4979	2,6062	-0,1083	-4,3
Monte Alegre	2,3115	2,3434	-0,0319	-1,4
Oswaldo Cruz	2,7373	2,7852	-0,0479	-1,7
Ourinhos	2,6062	2,6022	0,0041	0,2
Palmital	2,6007	2,5726	0,0282	1,1
Paraesópolis	2,4945	2,5108	-0,0163	-0,7
Paraguaçu Paulista – Cocal	2,6290	2,6507	-0,0218	-0,8

Cidade	I _{ig}	I _{ig} '	Erro (E)	
			Absoluto	Percentual
CONTINUAÇÃO				
Paraguaçu Paulista - Horto	2,5267	2,5695	-0,0428	-1,7
Pariquera-Açu	2,6514	2,5783	0,0731	2,8
Paulinia	2,5261	2,5527	-0,0266	-1,1
Pedrinhas Paulista	2,6998	2,6986	0,0012	0,0
Penápolis	2,6222	2,7158	-0,0936	-3,6
Piacatu	2,5512	2,6400	-0,0888	-3,5
Piedade	2,1624	2,1445	0,0179	0,8
Pindamonhangaba	2,4751	2,4669	0,0082	0,3
Pindorama	2,4533	2,5723	-0,1190	-4,8
Piracaia	2,3260	2,3264	-0,0005	0,0
Piracicaba	2,4229	2,4728	-0,0500	-2,1
Presidente Prudente	2,6054	2,6391	-0,0336	-1,3
Quatá	2,6132	2,6603	-0,0471	-1,8
Rancharia	2,6453	2,6574	-0,0122	-0,5
Rancharia - Casa da Agricultura	2,5713	2,6430	-0,0717	-2,8
Rancharia - Fazenda Bartira	2,5443	2,5828	-0,0385	-1,5
Registro	2,6913	2,6184	0,0729	2,7
Ribeirão Preto	2,4205	2,5956	-0,1752	-7,2
Santa Barbara do Oeste	2,3418	2,3995	-0,0577	-2,5
Sta. Cruz do Rio Pardo – Faz. Pardo Guacho	2,4512	2,4423	0,0089	0,4
Santa Maria da Serra	2,3986	2,4017	-0,0031	-0,1
Santos	2,8000	2,7275	0,0725	2,6
São Carlos	2,3367	2,4195	-0,0828	-3,5
São José das Laranjeiras	2,6644	2,6473	0,0171	0,6
São José do Rio Pardo	2,6652	2,6885	-0,0232	-0,9
São José do Rio Preto	2,5859	2,7552	-0,1694	-6,5
São Paulo	2,4204	2,3938	0,0266	1,1
São Pedro	2,2208	2,2436	-0,0228	-1,0
São Pedro do Turvo	2,5225	2,5400	-0,0174	-0,7
São Roque	2,0435	2,0830	-0,0396	-1,9
São Simão	2,4294	2,6212	-0,1919	-7,9
Sete Barras	2,7234	2,6507	0,0728	2,7
Sorocaba	2,3736	2,4038	-0,0302	-1,3
Sumaré	2,2900	2,4061	-0,1161	-5,1
Taquaritinga	2,5128	2,5058	0,0070	0,3
Tarumã	2,5492	2,5678	-0,0185	-0,7
Tatuí	2,3360	2,3692	-0,0331	-1,4
Taubaté	2,4265	2,4000	0,0265	1,1

Cidade	I_{ig}	I_{ig}'	Erro (E)	
			Absoluto	Percentual
CONTINUAÇÃO				
Tietê	2,3483	2,3941	-0,0458	-2,0
Tupã	2,5849	2,6574	-0,0726	-2,8
Tupi Paulista	2,5755	2,6939	-0,1184	-4,6
Ubatuba	2,8541	2,7818	0,0722	2,5
Valinhos	2,4771	2,5123	-0,0352	-1,4
Valpariso	2,5549	2,6628	-0,1080	-4,2
Vargem	2,1314	2,1434	-0,0121	-0,6
Vargem. Gde. do Sul - As. dos Bataticultores	2,3718	2,5298	-0,1579	-6,7
Votuporanga	2,5743	2,6628	-0,0885	-3,4

O valor do Erro Médio (E_m) é de -0,0438074. Somando este valor à Eq. 9.7, obtém-se o modelo final ajustado aos dados do Estado de São Paulo, o qual será chamado de *Índice Climático do Estado de São Paulo* de apodrecimento de madeira em contato com o solo.

$$I_{LL-SP} = 1,00447 \times I_{ig;simplicado} - 0,0849705 - 0,0438074 \quad (9.10)$$

$$I_{LL-SP} = 1,00447 \times I_{ig;simplicado} - 0,12878 \quad (9.11)$$

Assim são propostos dois modelos, o modelo simplificado (Eq. 9.12) o qual foi mostrado possuir pequena variação do modelo inicial de Leicester, e o modelo ajustado ao Estado de São Paulo (Eq. 9.13).

$$I_{ig;simplicado} = f(R_{média})^{0,3} \times g(T_{média})^{0,2} \quad (9.12)$$

$$I_{LL-SP} = 1,00447 \times f(R_{média})^{0,3} \times g(T_{média})^{0,2} - 0,12878 \quad (9.13)$$

$$f(R_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } R_{média} \leq 250 \text{ mm} \\ f_0(R_{média}), & \text{Se } R_{média} > 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (9.14)$$

$$f_0(R_{média}) = 10 \times [1 - e^{-0,001(R_{média}-250)}] \quad (9.15)$$

$$g(T_{média}) = \begin{cases} 0, & \text{Se } T_{média} \leq 5^\circ\text{C} \\ -1 + 0,2 \times T_{média}, & \text{Se } 5^\circ\text{C} < T_{média} \leq 20^\circ\text{C} \\ -25 + 1,4 \times T_{média}, & \text{Se } T_{média} > 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (9.16)$$

10 METODOLOGIA DE INSPEÇÃO

A seguir é descrita a metodologia de inspeção dos postes a ser realizada. Deve-se ressaltar que as inspeções foram realizadas apenas nos postes de eucalipto.

10.1 Dados dos postes

Antes de se iniciar as inspeções nos postes, os dados “data de preservação”, “tipo de preservativo” e “diâmetro” foram anotados, para compor a análise posteriormente.

Os dados do poste, idade e tipo preservativo, foram obtidos através da plaqueta de identificação a qual todos os postes possuem, Figura 10.1



FIGURA 10.1 – Plaqueta de identificação dos postes

Como acima dito a data indicada na plaqueta é a da preservação, e não da instalação. Assim a idade determinada por esta, não é exatamente o tempo no qual poste está em serviço.

Porém, como a real idade em serviço não foi possível de se obter, e em vista que a data da preservação está próxima da data de instalação, considerar-se-á a data de preservação para a determinação da idade do poste.

O diâmetro do poste no afloramento foi obtido através da determinação da circunferência desta região, nesta posição, Figura 10.2



FIGURA 10.2 – Determinação da circunferência no afloramento

Não foi possível a obtenção do tipo de madeira de eucalipto de origem dos postes, pois a grande maioria dos postes não possuía esta indicação na plaqueta de identificação. Assim, este dado não será descrito e analisado.

10.2 Inspeção por perfuração controlada

A perfuração controlada foi realizada utilizando o equipamento IML-RESIF500-S. Este equipamento possui uma broca de 50 cm e produz um furo de 3mm, não sendo prejudicial ao poste a perfuração realizada. A Figura 10.3 mostra o equipamento¹.

¹ Segurando o equipamento, o funcionário do LaMEM Samuel Inácio de Sá;



FIGURA 10.3 – Equipamento de perfuração controlada IML-RESIF500-S

O equipamento possui dois sistemas de registro do perfil da perfuração.

O primeiro sistema é o de registro em papel, através de uma agulha que risca a superfície deste, deixando impresso o perfil de perfuração, Figura 10.4. Este perfil fica exatamente com o mesmo comprimento perfurado ao longo da seção transversal da peça inspecionada. O papel de registro deve ser substituído a cada nova perfuração.



FIGURA 10.4 – Registro do perfil em papel

O segundo sistema é de armazenamento digital, através de uma caixa coletora de dados. Após a realização da perfuração, através de sistema *BLUETOOTH*, os dados são transmitidos para um computador pessoal. Por este sistema pode-se transmitir os dados após várias perfurações terem sido realizadas.

Após a transmissão dos vários perfis de perfuração, estes são analisados em um software que acompanha o equipamento. A Figura 10.5 mostra um perfil de perfuração visto através do software de análise.

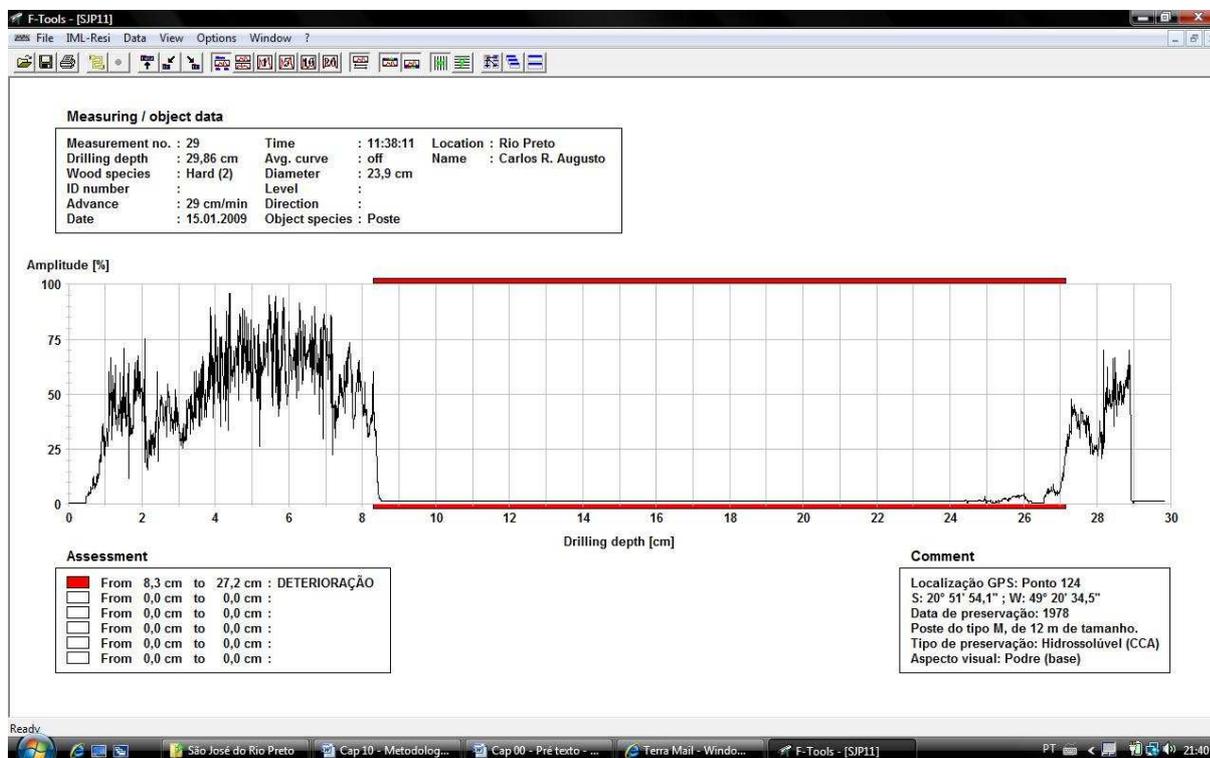


FIGURA 10.5 – Tela de software para análise do perfil perfurado

Através deste software, é possível determinar com precisão o comprimento deteriorado da seção transversal do elemento que foi inspecionado.

Como exemplo, a Figura 10.5 mostra o perfil de perfuração no qual o comprimento deteriorado foi determinado entre a profundidade de 8,3 cm e 27,2 cm, total de 18,9 cm.

Entretanto, para realização da perfuração de postes na região do afloramento, o equipamento dispõe de uma ponteira chanfrada à 45°, Figuras 10.6 e 10.7



FIGURA 10.6 – Equipamento de perfuração com ponteira chanfrada



FIGURA 10.7 – Perfuração no afloramento do poste

Utilizando-se a ponteira chanfrada, o comprimento perfurado acaba sendo maior que o diâmetro do poste. Para se corrigir esta diferença devido ao ângulo, divide-se o valor do comprimento perfurado e do comprimento deteriorado por 1,414, que corresponde ao valor da diagonal do quadrado de lado unitário. O valor obtido é o valor real da degradação existente no poste.

10.3 Análise dos perfis da perfuração controlada

A análise dos perfis de perfuração foi realizada considerando os critérios de análise mostrados na Tabela 10.1

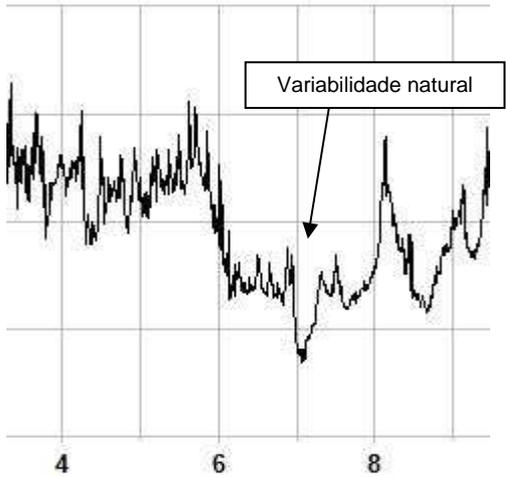
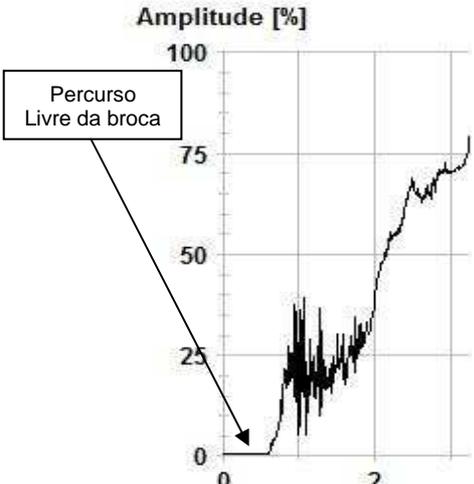
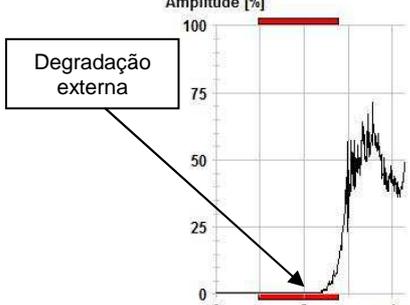
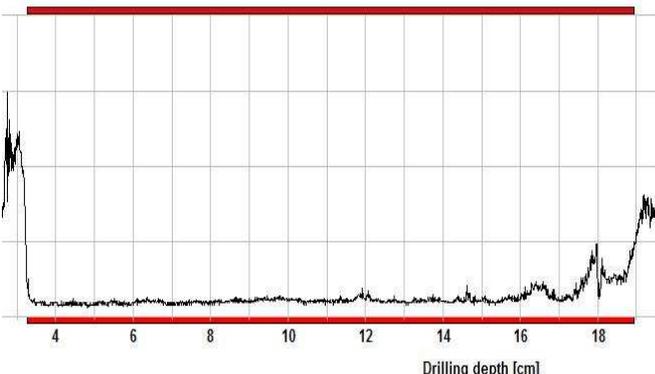
Utilizando estes critérios de análise, foram analisados os postes identificando a presença de apodrecimento interno, ou não.

TABELA 10.1 – Perfis de deterioração de postes de madeira

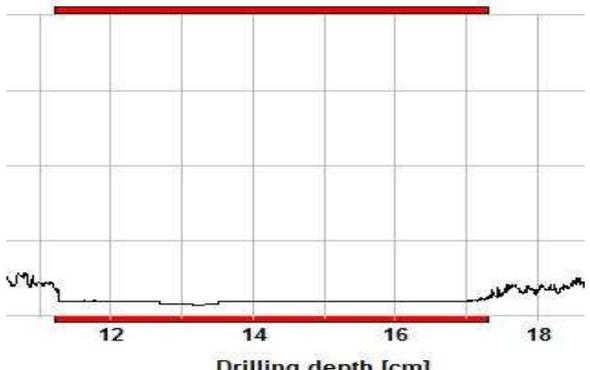
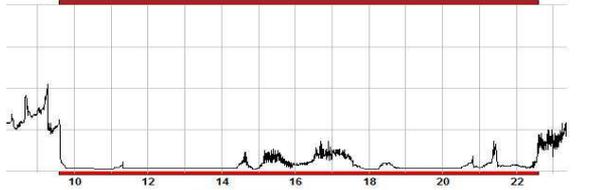
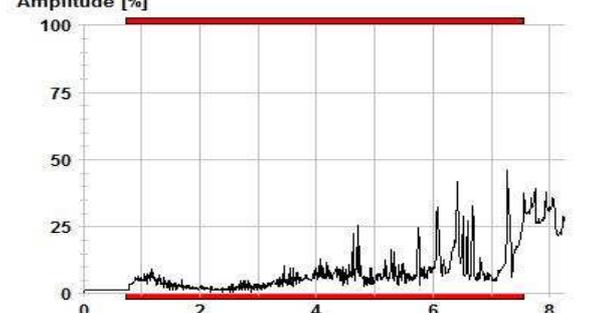
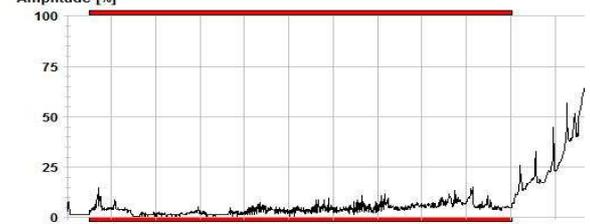
Perfil	Trecho de perfil	Descrição
1	<p>Amplitude [%]</p> <p>100 75 50 25 0</p> <p>0 2 4 6 8 10 12 14 16 18</p> <p>Drilling depth [cm]</p> <p>Varição abrupta</p> <p>Varição gradual</p>	<p>Entre 4 cm a 10 cm de profundidade, ocorre uma redução abrupta da resistência, associada com uma possível degradação interna da madeira;</p> <p>Entre 13 a 18 cm, ocorre uma variação de resistência de forma gradual, considerada como uma variação natural da resistência da madeira;</p>
2	<p>Total apodrecimento</p> <p>10 12 14 16 18 20 22</p> <p>Drilling depth [cm]</p>	<p>Total degradação da madeira entre as profundidades de aproximadamente 10 cm e 23 cm, não apresentando nenhuma resistência a perfuração pela broca;</p>
3	<p>Racha</p> <p>2 4</p>	<p>Presença de uma variação abrupta de resistência, de pequena extensão, associada com um defeito natural da madeira, do tipo racha (ver ANEXO B);</p>

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

4	 <p>Variabilidade natural</p>	<p>Varição abrupta de resistência, entretanto não associada a um defeito natural do tipo racha, pois apresenta resistência à perfuração;</p>
5	 <p>Amplitude [%]</p> <p>Percurso Livre da broca</p>	<p>Percurso livre da broca, sem perfurar a madeira, próximo de 1 cm;</p>
6	 <p>Amplitude [%]</p> <p>Degradação externa</p>	<p>O apodrecimento superficial, considerado após o primeiro centímetro de profundidade, devido ao percurso livre da broca;</p>
7	 <p>Drilling depth [cm]</p>	<p>Degradação interna de longa extensão, apresentando baixa resistência à perfuração e pequena variabilidade;</p>

CONTINUAÇÃO

8		Degradação interna de pequena extensão, de baixa resistência constante à perfuração;
9		Degradação interna de longa extensão com baixa resistência à perfuração, apresentando pico de maior resistência;
10		Degradação externa de longa extensão, com resistência à perfuração apresentando grande variabilidade
11		Degradação externa de longa extensão, com resistência à perfuração apresentando baixa variabilidade;

A Tabela 10.1 é uma sugestão inédita para a análise de perfuração em postes de madeira e corresponde a experiência de 149 ensaios de perfuração em postes de várias regiões do Estado de São Paulo.

11 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A seguir é feita a descrição e análise estatística dos dados dos postes inspecionados no estudo.

11.1 Descrição dos postes inspecionados

Ao total foram visitadas 14 cidades do Estado de São Paulo. A Tabela 11.1 mostra a identificação das cidades visitadas para as inspeções em postes, bem como a nomenclatura utilizada para identificação e os respectivos valores climáticos.

TABELA 11.1 – Identificação das cidades visitadas

	Cidade / Identificação		Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Meses secos	lig	lig:simplificado
1	Araçatuba	Ara	24,6	1424	1,11	2,63	2,80
2	Barretos	Bar	24,7	1510	1,75	2,56	2,84
3	Bauru	Bau	23,8	1373	1,00	2,56	2,71
4	Campinas	Cam	22,2	1456	0,92	2,45	2,57
5	Campos do Jordão	CJo	15,1	1726	0,80	2,04	2,12
6	Capão Bonito	CBo	20,1	1364	0,55	2,16	2,23
7	Itapetininga	Itga	21,1	1338	0,50	2,33	2,39
8	Itapeva	Itva	21,3	1605	0,30	2,46	2,50
9	Lins	Lins	24,4	1387	1,20	2,59	2,77
10	Matão	Mat	23,5	1329	1,00	2,52	2,66
11	Penápolis	Pen	24,5	1421	1,11	2,62	2,79
12	São José do Rio Preto	SJRP	25,0	1417	1,55	2,59	2,83
13	Ubatuba	Uba	22,9	2514	0,00	2,85	2,85
14	Valparaíso	Val	24,3	1331	1,22	2,55	2,74

A Tabela 11.2 mostra os dados identificados nas inspeções dos postes, sendo eles tratamento preservativo, idade e diâmetro.

Em cada cidade visitada, foram inspecionados 12 postes, totalizando 168 postes inspecionados neste estudo. Entretanto, devido à não gravação de dados de alguns postes, pelo sistema de armazenamento digital do equipamento de perfuração controlada, não foi possível utilizar todos os 168 perfis de perfuração no estudo.

Em cada poste inspecionado foi realizado apenas uma perfuração

Ao total são apresentados os dados de inspeção de 149 postes, Tabela 11.2.

O comprimento perfurado corresponde ao valor total da perfuração inclinada a 45° na região do afloramento.

O comprimento deteriorado corresponde ao valor corrigido do trecho avaliado como deteriorado, isto é, o valor determinado através do software de análise de perfil, dividido por 1,414.

O Grau de deterioração é a relação entre o comprimento deteriorado e o diâmetro do postes, o qual será analisado posteriormente.

TABELA 11.2 – Dados do levantamento de campo

Numero	Poste	Tratamento Preservativo	Idade (anos)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)		Grau de Deterioração
					Perfurado	Deteriorado	
1	Ara1	CCB	20	23,6	24,6	0,0	0,00
2	Ara2	Creosoto	20	22,3	28,5	0,0	0,00
3	Ara3	CCA	29	20,1	20,1	6,0	0,30
4	Ara4	CCA	29	25,5	30,6	4,2	0,14
5	Ara5	CCA	19	24,2	23,9	6,0	0,25
6	Ara6	Creosoto	20	23,2	26,6	0,0	0,00
7	Ara7	CCA	12	25,1	25,1	0,0	0,00
8	Ara8	CCA	22	24,2	28,0	0,0	0,00
9	Ara9	CCA	22	24,5	35,3	0,0	0,00
10	Ara10	CCB	27	26,7	27,5	0,0	0,00
11	Ara11	CCB	20	24,2	29,4	9,2	0,31
12	Bar2	CCA	21	26,4	28,9	1,4	0,05
13	Bar3	CCA	18	21,0	35,6	0,0	0,00
14	Bar4	CCA	18	24,5	27,4	3,7	0,13
15	Bar5	CCA	18	27,1	27,0	1,4	0,05
16	Bar6	CCA	18	20,7	20,8	0,0	0,00
17	Bar7	CCA	21	24,8	28,5	8,8	0,31
18	Bar8	CCA	18	19,1	25,2	7,6	0,30
19	Bar9	CCA	18	18,1	22,7	0,0	0,00
20	Bau1	CCA	14	21,6	24,6	0,0	0,00
21	Bau2	CCA	14	20,7	23,4	0,0	0,00
22	Bau3	CCA	15	19,7	21,1	0,0	0,00
23	Bau4	CCA	15	20,1	23,9	0,0	0,00
24	Bau5	CCA	15	20,7	25,1	0,0	0,00
25	Bau6	CCA	15	19,7	29,8	9,2	0,31
26	Bau7	CCA	15	19,4	27,4	1,4	0,05

CONTINUA

Numero	Poste	Tratamento Preservativo	Idade (anos)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)		Grau de Deterioração
					Perfurado	Deteriorado	
CONTINUAÇÃO							
27	Bau8	CCA	15	20,7	26,0	0,0	0,00
28	Bau9	CCA	15	20,1	25,1	0,0	0,00
29	Bau10	Creosoto	15	24,2	29,1	0,0	0,00
30	Bau11	CCA	21	17,8	19,9	0,0	0,00
31	Bau12	CCA	14	24,5	29,0	0,0	0,00
32	Cam1	CCA	17	28,6	31,7	3,7	0,12
33	Cam2	CCA	17	33,1	38,3	0,0	0,00
34	Cam3	CCA	17	26,4	42,6	14,8	0,35
35	Cam4	CCA	13	21,3	24,7	8,8	0,36
36	Cam6	CCA	13	21,0	21,6	0,0	0,00
37	Cam7	CCA	13	28,3	42,1	7,1	0,17
38	Cam8	CCA	13	22,9	31,9	5,6	0,18
39	Cam9	CCB	11	20,7	23,8	3,6	0,15
40	Cam10	CCA	11	22,0	25,7	1,8	0,07
41	Cam11	CCB	15	28,0	33,0	2,6	0,08
42	CJo1	CCA	27	26,1	31,9	3,0	0,10
43	CJo2	CCA	14	24,2	26,6	1,1	0,04
44	CJo3	CCA	14	20,4	21,9	0,0	0,00
45	CJo4	CCA	14	20,7	21,4	1,3	0,06
46	CJo6	CCA	28	21,0	23,5	0,7	0,03
47	CJo7	CCA	27	23,2	23,8	0,0	0,00
48	CJo8	CCA	14	22,9	26,0	1,4	0,05
49	CJo9	CCA	14	19,1	21,0	1,1	0,05
50	CJo11	CCA	23	20,4	22,5	0,0	0,00
51	CJo12	CCA	23	21,3	21,7	0,0	0,00
52	CBo1	CCA	8	10,8	18,8	0,0	0,00
53	CBo2	CCA	8	13,7	21,4	0,0	0,00
54	CBo3	CCA	8	13,1	20,8	0,0	0,00
55	CBo4	CCA	8	13,4	20,3	0,0	0,00
56	CBo5	CCA	8	10,2	19,0	0,0	0,00
57	CBo6	CCA	8	13,4	20,5	0,0	0,00
58	CBo7	CCA	8	11,8	21,4	0,0	0,00
59	CBo8	CCA	8	12,7	22,0	0,0	0,00
60	CBo9	CCA	8	10,5	19,8	0,0	0,00
61	CBo10	CCA	8	15,9	23,7	0,0	0,00
62	CBo11	CCA	8	12,7	23,3	7,1	0,30
63	CBo12	CCA	8	15,9	24,4	10,1	0,41
64	Itga1	CCA	9	22,3	24,6	0,0	0,00

Numero	Poste	Tratamento Preservativo	Idade (anos)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)		Grau de Deterioração
					Perfurado	Deteriorado	
CONTINUAÇÃO							
65	Itga2	CCA	5	19,4	22,4	0,0	0,00
66	Itga3	Creosoto	5	17,8	18,2	3,8	0,21
67	Itga4	Creosoto	5	20,4	22,6	12,9	0,57
68	Itga5	CCB	5	15,9	17,6	0,0	0,00
69	Itga6	CCB	5	16,6	19,7	6,9	0,35
70	Itga7	CCB	5	16,9	22,4	3,5	0,16
71	Itga8	CCB	5	15,9	17,7	0,0	0,00
72	Itga9	CCA	9	15,6	16,3	0,0	0,00
73	Itga10	CCB	9	17,5	19,0	2,8	0,15
74	Itga11	CCA	9	17,2	22,2	0,0	0,00
75	Itga12	CCB	25	30,9	33,3	0,0	0,00
76	Itva1	CCA	18	18,8	22,6	0,0	0,00
77	Itva2	CCA	18	18,8	23,2	0,0	0,00
78	Itva3	CCA	18	21,0	24,8	0,0	0,00
79	Itva4	CCA	18	21,3	23,6	0,0	0,00
80	Itva5	CCA	18	21,3	29,3	0,0	0,00
81	Itva7	CCA	18	23,2	23,1	0,0	0,00
82	Itva8	CCA	18	25,5	19,6	0,0	0,00
83	Itva9	CCA	18	32,8	32,8	0,0	0,00
84	Itva10	CCA	18	22,3	25,3	0,0	0,00
85	Itva11	CCA	18	22,0	22,9	0,0	0,00
86	Itva12	CCA	18	22,0	18,5	0,0	0,00
87	Lins1	CCA	20	19,7	23,6	0,0	0,00
88	Lins3	CCA	20	19,1	27,1	0,0	0,00
89	Lins4	CCA	16	21,0	25,3	1,8	0,07
90	Lins5	CCA	23	18,8	25,4	9,1	0,36
91	Lins7	CCA	10	19,1	32,0	0,0	0,00
92	Lins9	CCA	16	17,2	20,0	0,0	0,00
93	Lins10	CCA	16	17,2	23,3	12,3	0,53
94	Mat1	CCA	3	26,7	30,2	0,0	0,00
95	Mat2	CCA	27	22,9	32,3	10,3	0,32
96	Mat3	CCA	23	20,1	25,2	3,2	0,13
97	Mat4	CCA	23	24,2	27,0	0,0	0,00
98	Mat5	Creosoto	21	21,6	24,4	0,0	0,00
99	Mat6	Creosoto	21	21,6	27,6	9,6	0,35
100	Mat7	Creosoto	21	21,3	22,8	0,0	0,00
101	Mat8	CCA	23	21,0	23,5	0,0	0,00
102	Mat9	Creosoto	21	20,1	24,5	11,0	0,45

Numero	Poste	Tratamento Preservativo	Idade (anos)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)		Grau de Deterioração
					Perfurado	Deteriorado	
CONTINUAÇÃO							
103	Mat10	CCB	21	26,4	26,8	0,0	0,00
104	Mat11	Creosoto	21	22,6	27,2	0,0	0,00
105	Mat12	CCB	21	20,7	32,6	6,2	0,19
106	Pen1	CCB	16	20,4	24,8	0,0	0,00
107	Pen2	CCB	16	19,7	24,9	2,1	0,09
108	Pen3	CCB	16	20,1	24,2	0,0	0,00
109	Pen4	CCB	16	17,5	24,5	0,0	0,00
110	Pen5	CCB	16	23,2	29,4	2,8	0,10
111	Pen6	CCB	16	18,8	19,0	0,0	0,00
112	Pen7	CCB	16	19,7	23,6	10,8	0,46
113	Pen8	CCB	16	23,2	29,8	0,0	0,00
114	Pen9	CCB	16	23,9	27,3	0,0	0,00
115	Pen10	CCB	16	21,3	29,7	0,0	0,00
116	Pen12	CCB	11	21,6	23,9	0,0	0,00
117	SJRP1	CCA	32	23,2	26,0	0,0	0,00
118	SJRP2	CCA	32	25,5	33,4	0,0	0,00
119	SJRP3	CCA	32	23,2	24,7	0,0	0,00
120	SJRP4	Creosoto	19	24,8	24,8	13,4	0,54
121	SJRP6	CCA	18	25,5	25,6	0,0	0,00
122	SJRP7	CCA	18	19,7	26,6	0,0	0,00
123	SJRP8	CCA	18	26,7	29,7	6,5	0,22
124	SJRP9	CCA	18	22,3	22,9	0,0	0,00
125	SJRP10	CCA	31	25,8	32,4	6,1	0,19
126	SJRP11	CCA	31	23,9	29,9	18,9	0,63
127	Uba1	CCA	19	21,6	21,4	0,0	0,00
128	Uba2	CCA	19	25,1	27,3	0,0	0,00
129	Uba3	CCA	18	21,6	23,3	0,0	0,00
130	Uba4	CCA	25	23,6	26,4	0,0	0,00
131	Uba5	CCA	22	25,5	26,0	0,0	0,00
132	Uba6	CCA	15	18,8	20,8	0,0	0,00
133	Uba7	CCA	11	22,9	24,8	0,0	0,00
134	Uba8	CCA	11	23,2	29,0	0,0	0,00
135	Uba9	CCA	11	19,7	22,5	0,0	0,00
136	Uba10	CCA	24	23,2	24,6	10,5	0,43
137	Uba11	Creosoto	15	19,1	19,4	0,0	0,00
138	Uba12	Creosoto	15	22,0	24,2	0,0	0,00
139	Val1	CCB	21	20,7	23,6	4,6	0,19
140	Val2	CCA	6	22,9	26,2	1,4	0,05

Numero	Poste	Tratamento Preservativo	Idade (anos)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)		Grau de Deterioração
					Perfurado	Deteriorado	
CONTINUAÇÃO							
141	Val3	Creosoto	19	25,8	33,4	0,0	0,00
142	Val4	CCA	25	22,3	27,3	2,3	0,08
143	Val5	CCA	25	22,3	22,7	0,0	0,00
144	Val6	Creosoto	23	23,6	23,8	0,0	0,00
145	Val7	CCA	12	25,1	25,1	2,5	0,10
146	Val8	CCA	12	20,7	25,6	0,0	0,00
147	Val9	Creosoto	14	25,1	25,9	0,0	0,00
148	Val10	CCA	26	21,6	27,0	3,8	0,14
149	Val12	CCA	12	20,1	36,3	1,1	0,03

A Tabela 11.3, mostra a estatística descritiva da idade e diâmetro do poste.

TABELA 11.3 – Estatística descritiva dos postes inspecionados

Estatística	Diâmetro (cm)	Idade (anos)
Média	21,4	16,7
Desvio padrão amostral	4,0	6,4
Mínimo	10,2	3,0
Máximo	33,1	32,0
Amplitude	22,9	29,0

As Figuras 11.1 e 11.2 mostram a distribuição de frequência absoluta para os valores de diâmetro e idade dos postes.

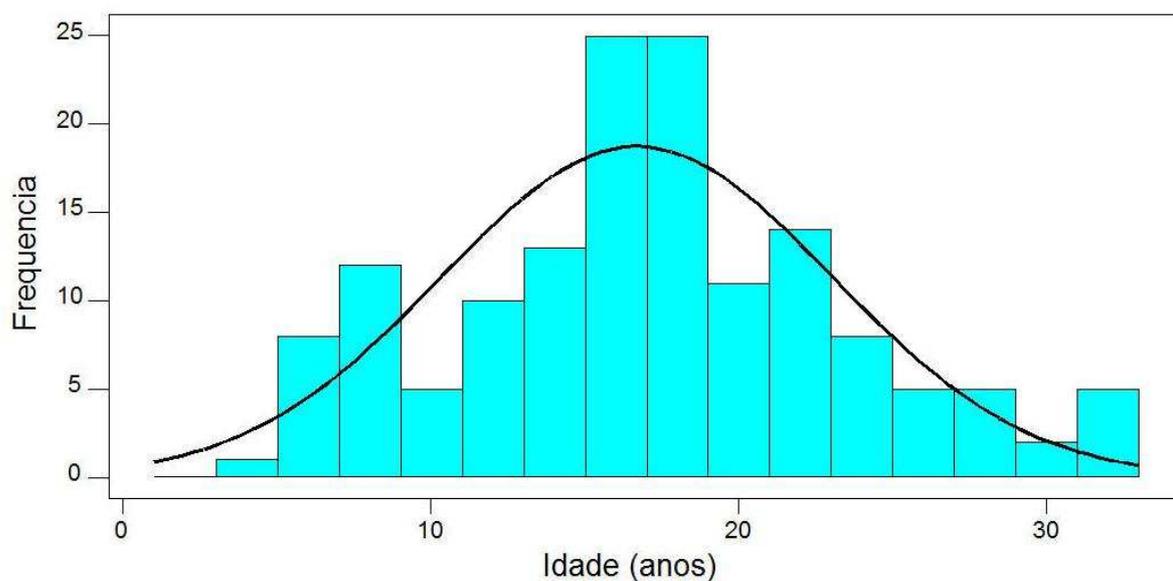


FIGURA 11.1 – Histograma de frequência absoluta das idades

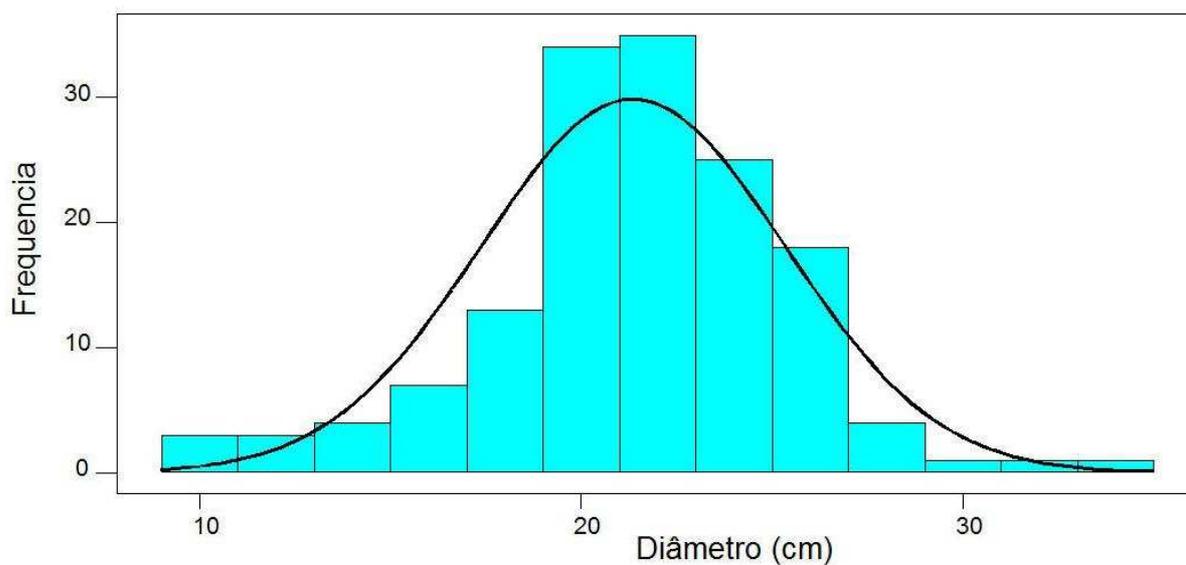


FIGURA 11.2 – Histograma de frequência absoluta dos diâmetros

A Tabela 11.4 mostra o teste de normalidade para os valores de idade e diâmetro postes inspecionados, adotando-se $\alpha = 0,01$.

TABELA 11.4 – Teste de normalidade dos valores de idade e diâmetro dos postes inspecionados

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Idade	149	0,134	0,045	Não Rejeitar
Diâmetro	149	0,134	0,079	Não Rejeitar

Pode-se observar que a hipótese H_0 de que os dados provêm de uma distribuição normal, não deve ser rejeitada para a idade e diâmetro dos postes.

As Figuras 11.3 e 11.4 mostram a dispersão dos dados em torno da curva normal acumulada, para os dados testados.

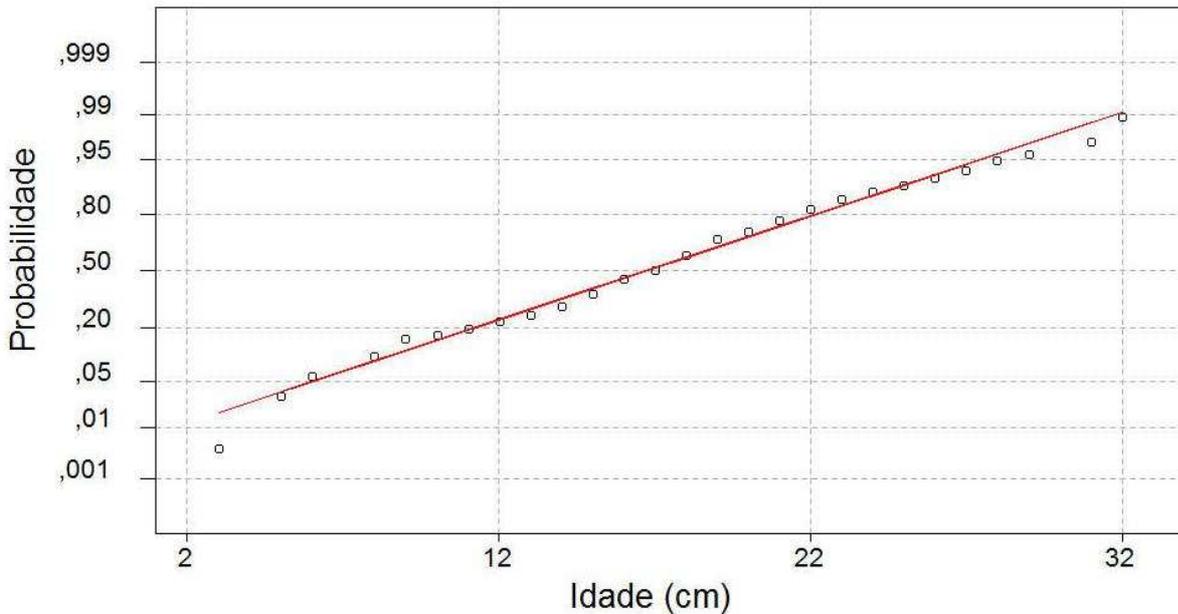


FIGURA 11.3 – Teste de normalidade para as idades dos postes

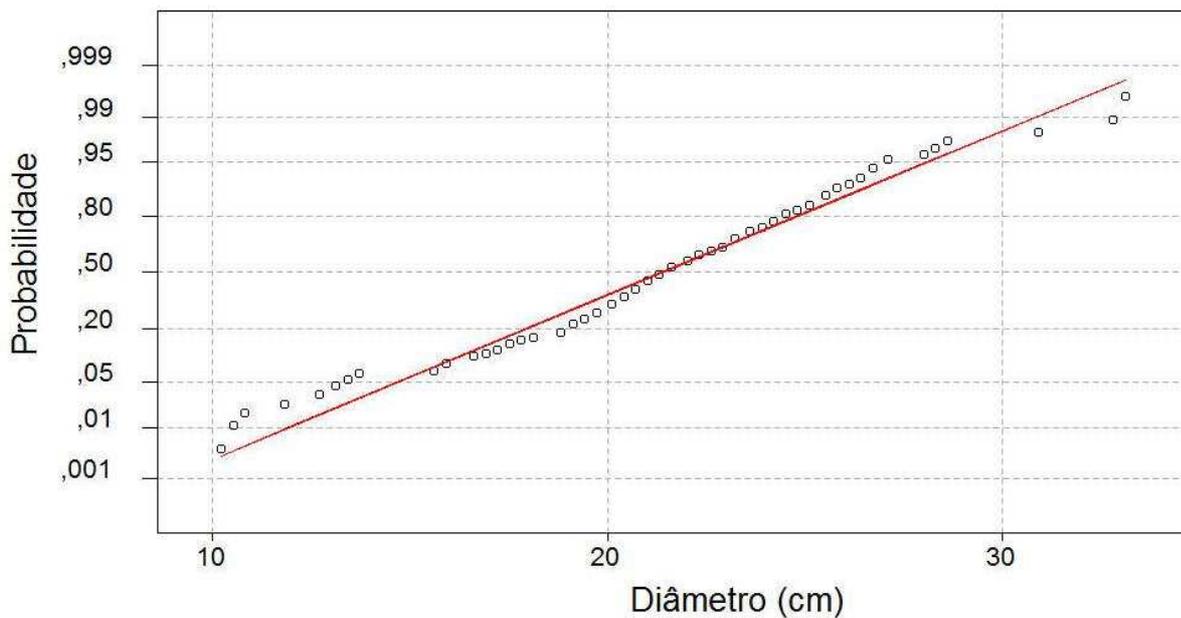


FIGURA 11.4 – Teste de normalidade para os diâmetros dos postes

A Tabela 11.5 mostra a distribuição absoluta e relativa dos preservativos presentes nos postes inspecionados.

TABELA 11.5 – Distribuição absoluta e relativa do tipo de preservativo presente nos postes inspecionados

Preservativo	Distribuição	
	Absoluta	Relativa
CCA	86	67%
CCB	26	20%
CREOSOTO	17	13%
Total	129	-

A Tabela 11.6 mostra os valores obtidos no teste de normalidade para os valores de temperatura, precipitação, meses secos, I_{ig} e $I_{ig:simplificado}$, adotando-se $\alpha = 0,01$.

TABELA 11.6 – Teste de normalidade dos dados climáticos

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Temperatura	149	0,134	0,123	Não Rejeitar
Precipitação	149	0,134	0,283	Rejeitar
Meses Secos	149	0,134	0,080	Não Rejeitar
I_{ig}	149	0,134	0,168	Rejeitar
$I_{ig:simplificado}$	149	0,134	0,165	Rejeitar

Segundo os testes realizados, apenas os dados de temperatura e meses secos podem ser considerados pertencentes a uma distribuição normal.

As Figuras 11.5 à 11.9, mostram as respectivas distribuições dos dados em torno da curva normal acumulada.

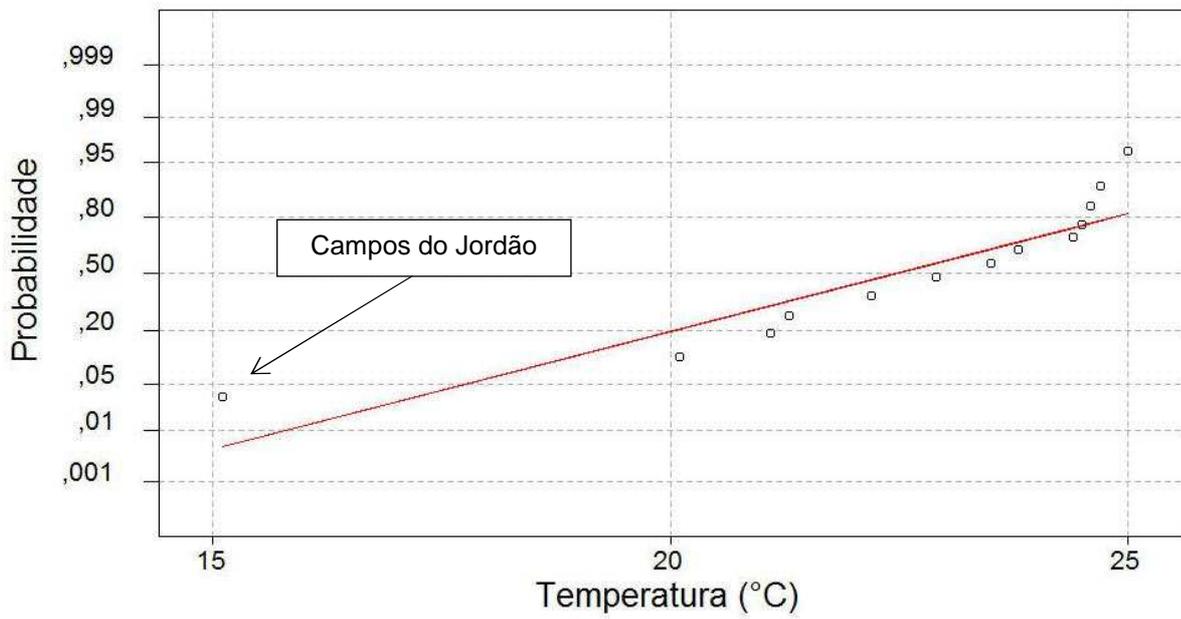


FIGURA 11.5 – Teste de normalidade para as temperaturas dos postes

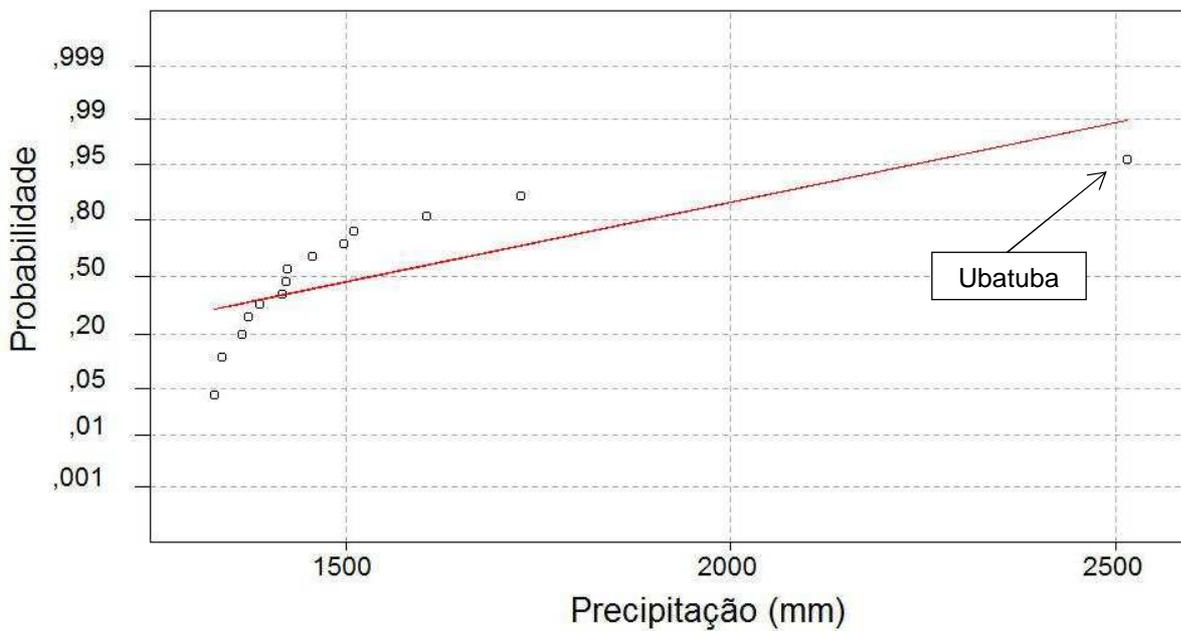


FIGURA 11.6 – Teste de normalidade para as precipitações dos postes

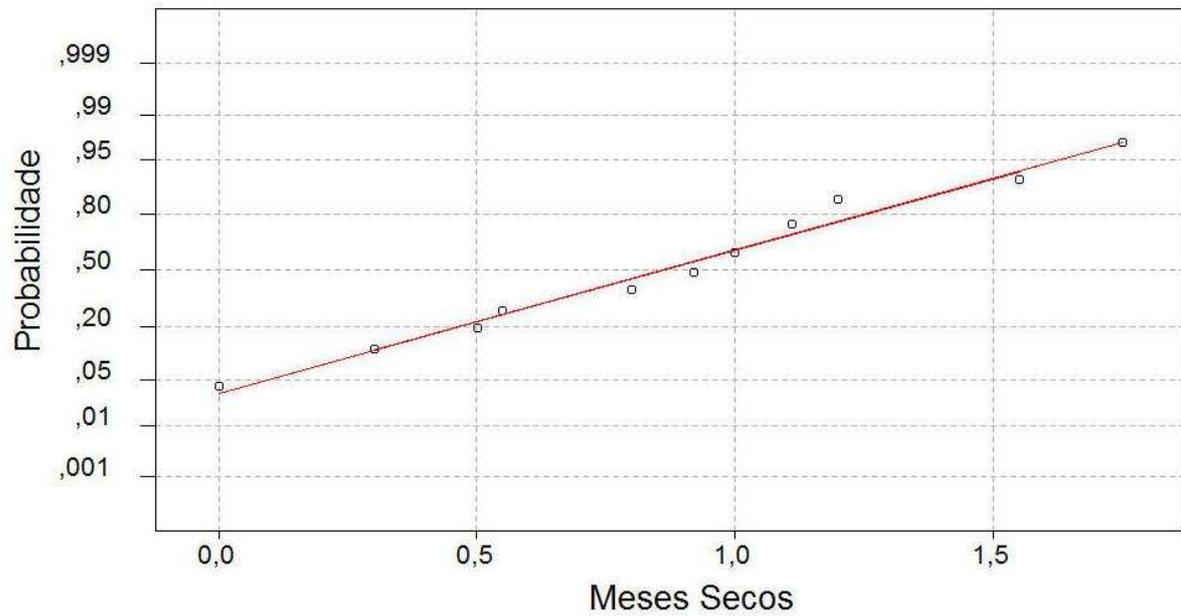


FIGURA 11.7 – Teste de normalidade para os meses secos dos postes

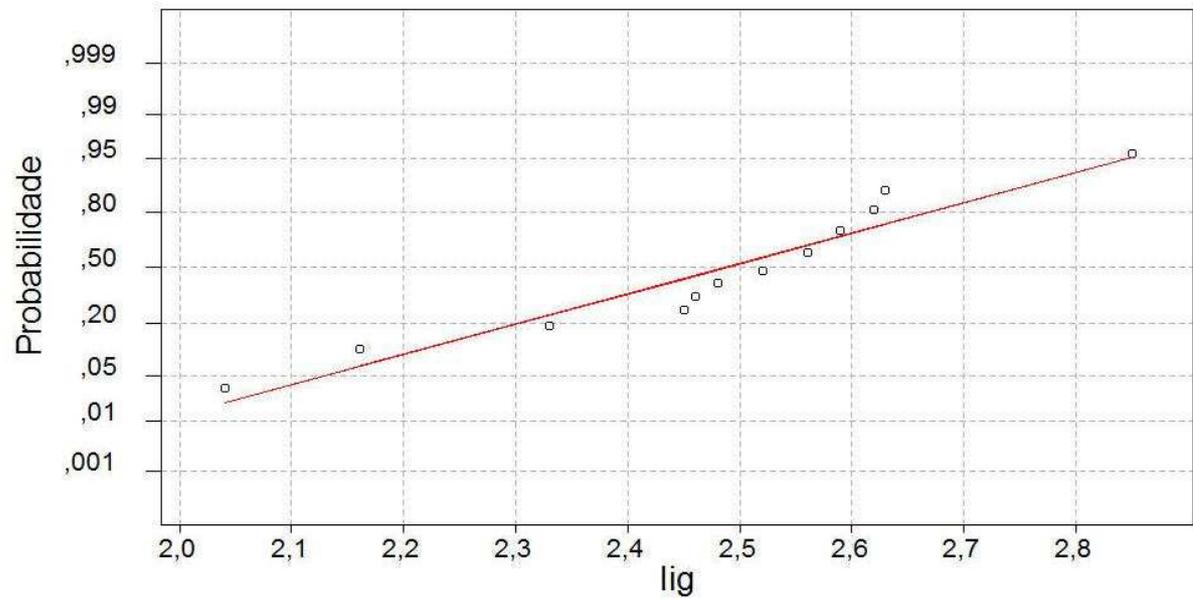


FIGURA 11.8 – Teste de normalidade para o l_{ig} dos postes

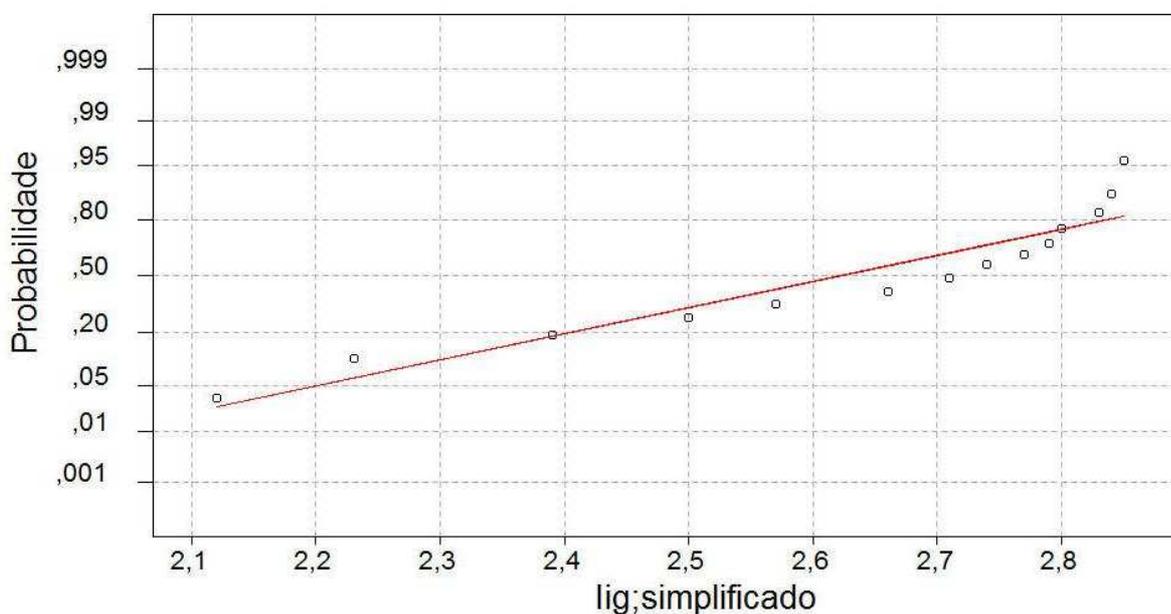


FIGURA 11.9 – Teste de normalidade para o $l_{ig,simplificado}$ dos postes

11.2 Identificação de populações

A Tabela 11.7 mostra a estatística descritiva para o comprimento deteriorado para os postes em que foram identificados apodrecimento. A Figura 11.16 mostra o histograma de frequência absoluta para os valores de comprimento deteriorado.

TABELA 11.7 – Estatística descritiva do comprimento deteriorado

Estatística	Comprimento deteriorado (cm)
n	54
Média	5,8
Mínimo	0,7
Máximo	18,9
Amplitude	13,1

Pela Figura 11.10 verifica-se a máxima frequência dos dados ocorre no valor de 2 cm de comprimento, apresentando redução gradual da frequência com o aumento do valor.

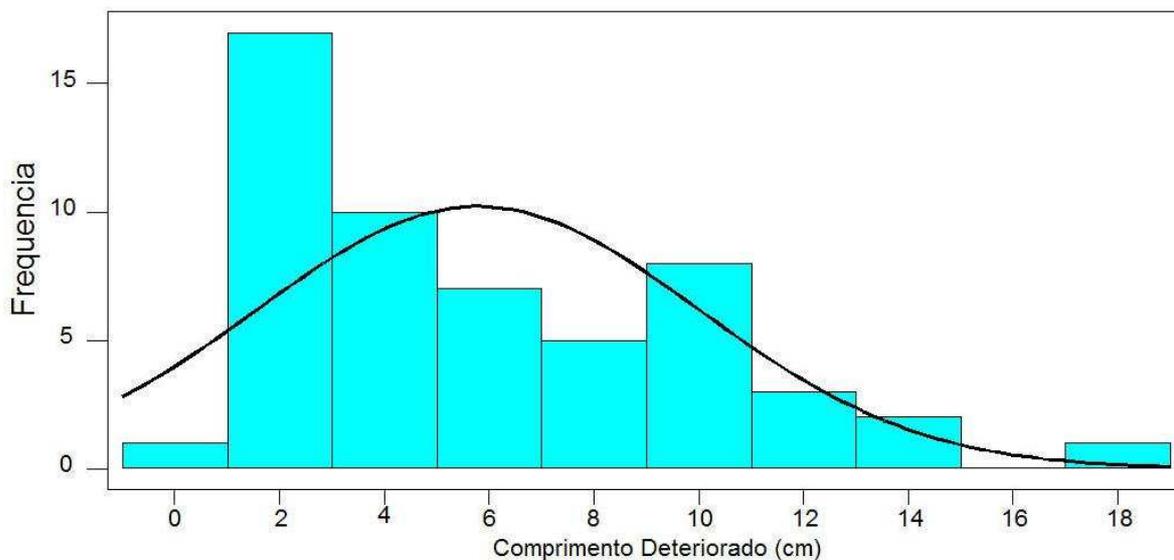


FIGURA 11.10 – Histograma de frequência absoluta dos comprimento deteriorado

Entretanto, apesar do histograma não possuir a aparência de uma distribuição normal, os valores do teste de normalidade, não permitem rejeitar a hipótese H_0 de normalidade dos dados, Tabela 11.8 e Figura 11.11.

TABELA 11.8 – Teste de normalidade dos valores de comprimento deteriorado

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Comprimento deteriorado	54	0,222	0,163	Não Rejeitar

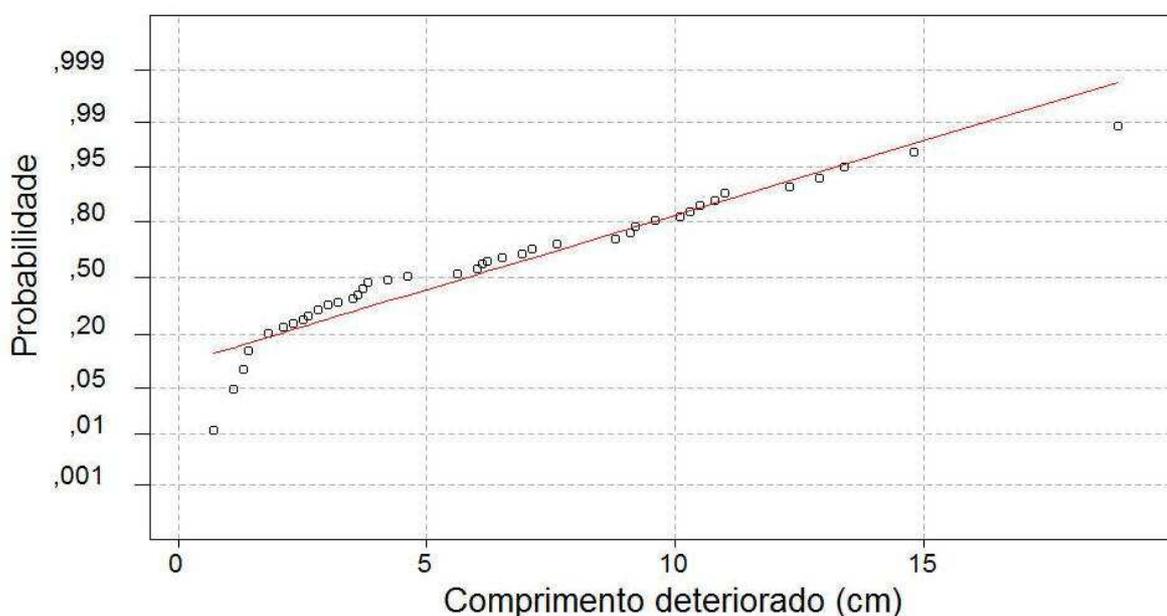


FIGURA 11.11 – Teste de normalidade para o comprimento deteriorado dos postes

Para a realização da análise de populações, os postes inspecionados foram divididos em duas populações, os SÃOS e os DETERIORADOS.

A população dos postes SÃOS é aquela em que estes não apresentaram deterioração ao longo do perfil de perfuração, constando na Tabela 11.2 o valor "0,00 cm" de comprimento deteriorado.

A população dos postes DETERIORADOS é aquela em que os postes apresentam um comprimento de deterioração ao longo do perfil de perfuração, não se fazendo distinção dos valores de deterioração.

A Tabela 11.9 mostra os valores de estatística descritiva para as populações de postes SÃOS e DETERIORADOS.

TABELA 11.9 – Estatística descritiva dos diâmetros dos postes SÃOS e DETERIORADOS

Estatística	SÃOS	DETERIORADOS
n	95	54
Média	21,0	22,0
Desvio padrão amostral	4,2	3,4
Mínimo	10,2	12,5
Máximo	33,1	28,7
Amplitude	22,9	16,2

As Figuras 11.12 e 11.13 mostram a distribuição de frequência absoluta para a população de postes SÃOS e DETERIORADOS.

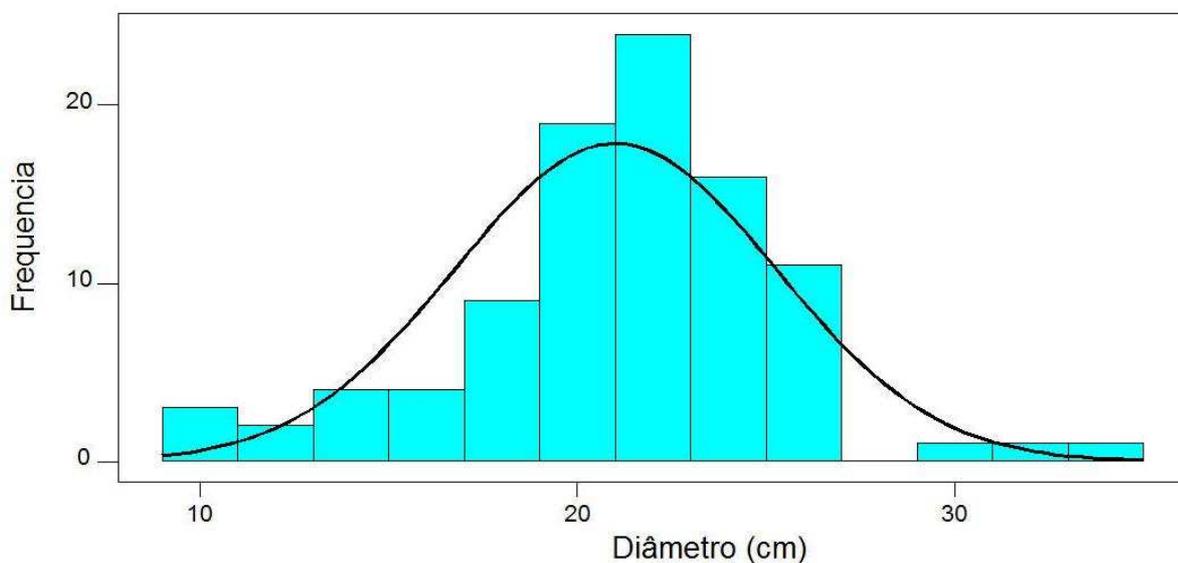


FIGURA 11.12 – Histograma de frequência absoluta dos diâmetros dos postes SÃOS

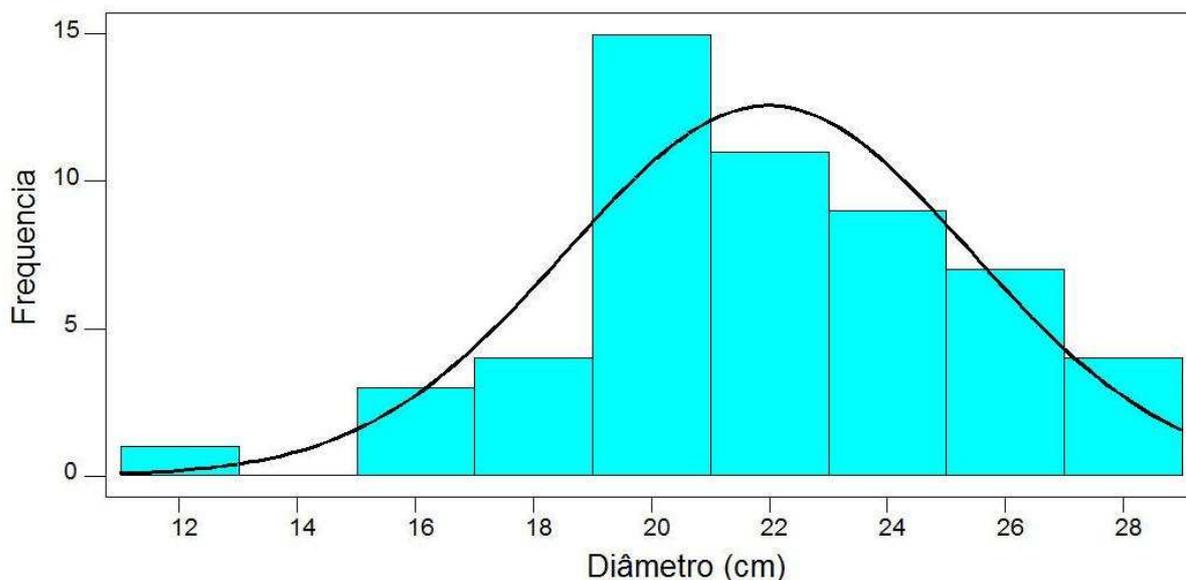


FIGURA 11.13 – Histograma de frequência absoluta dos diâmetros dos postes DETERIORADOS

Comparando os histogramas dos diâmetros, percebe-se que os postes DETERIORADOS apresentam uma maior frequência acima dos valores de 20 cm.

TABELA 11.10 – Estatística descritiva das idades dos postes SÃOS e DETERIORADOS

Estatística	Postes SÃOS	Postes DETERIORADOS
N	95	54
Média	16,4	17,2
Desvio padrão amostral	6,0	6,9
Mínimo	3	5
Máximo	32	31
Amplitude	29	26

As Figuras 11.14 e 11.15 mostram a distribuição de frequência absoluta para a população de postes SÃOS e DETERIORADOS.

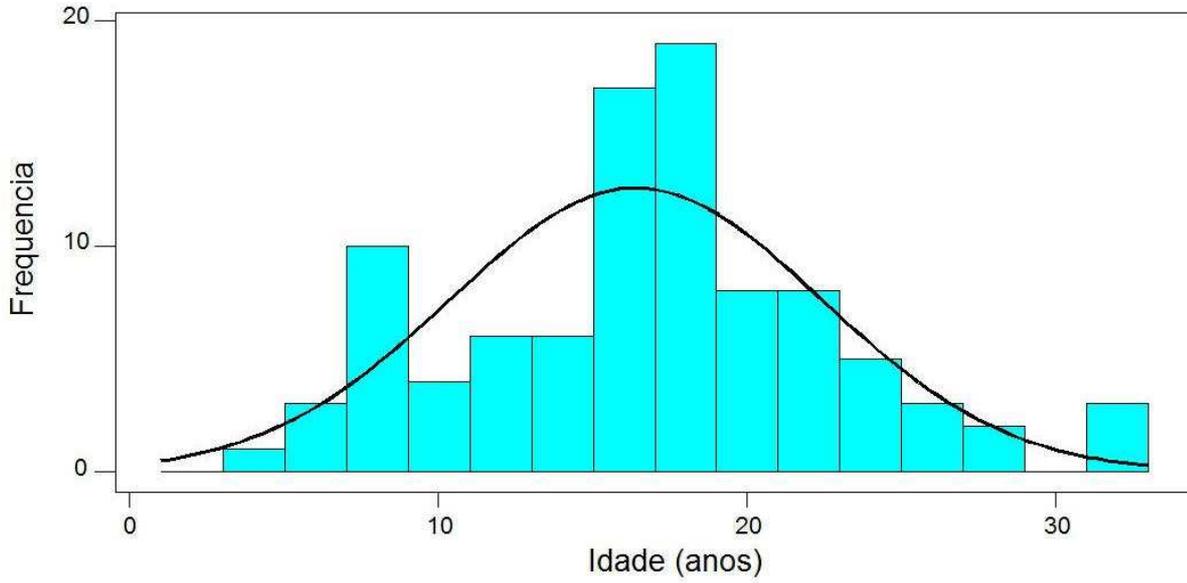


FIGURA 11.14 – Histograma de frequência absoluta das idades dos postes SÃOS

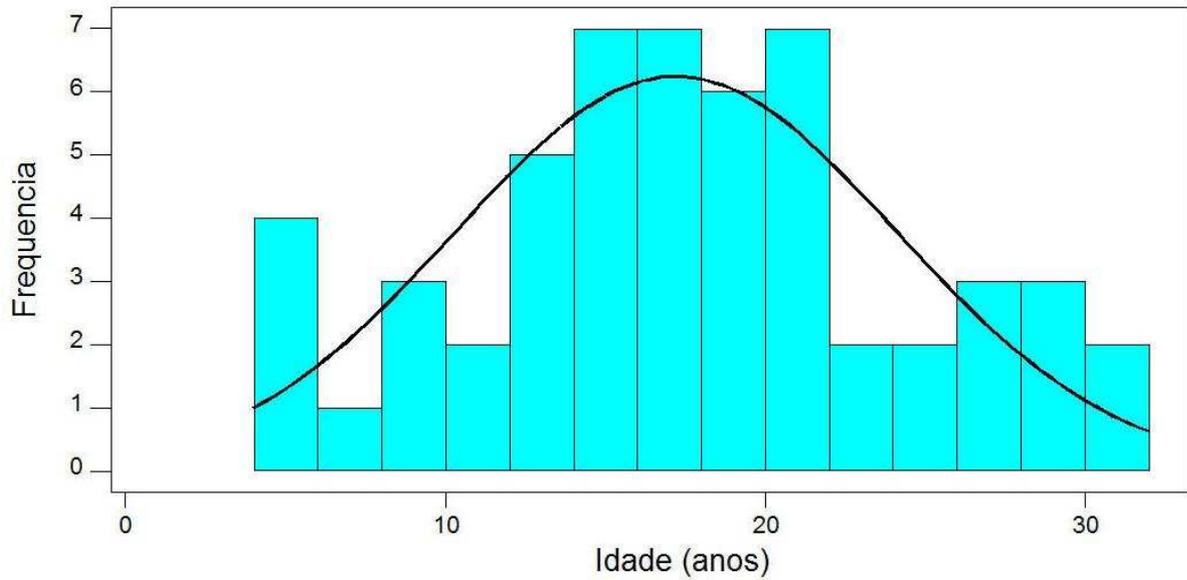


FIGURA 11.15 – Histograma de frequência absoluta das idades dos postes DETERIORADOS

11.3 Testes de Hipótese para os postes (Teste-F)

Para identificar se as populações dos postes SÃOS e DETERIORADOS são diferentes, com relação à idade e diâmetro, realiza-se o teste-F para $\alpha = 0,05$.

- **Teste-F para o diâmetro dos postes**

H_0 : a variância dos diâmetros dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a variância dos diâmetros dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 1,535

$F_{critico}$: 1,515

Valor P: 0,045

Conclusão: rejeitar H_0

A Figura 11.16 compara a população dos postes SÃOS e DETERIORADOS, sendo possível notar que a dispersão das idades dos postes SÃOS é maior que a dos postes DETERIORADOS, corroborando com os valores do teste-F acima.

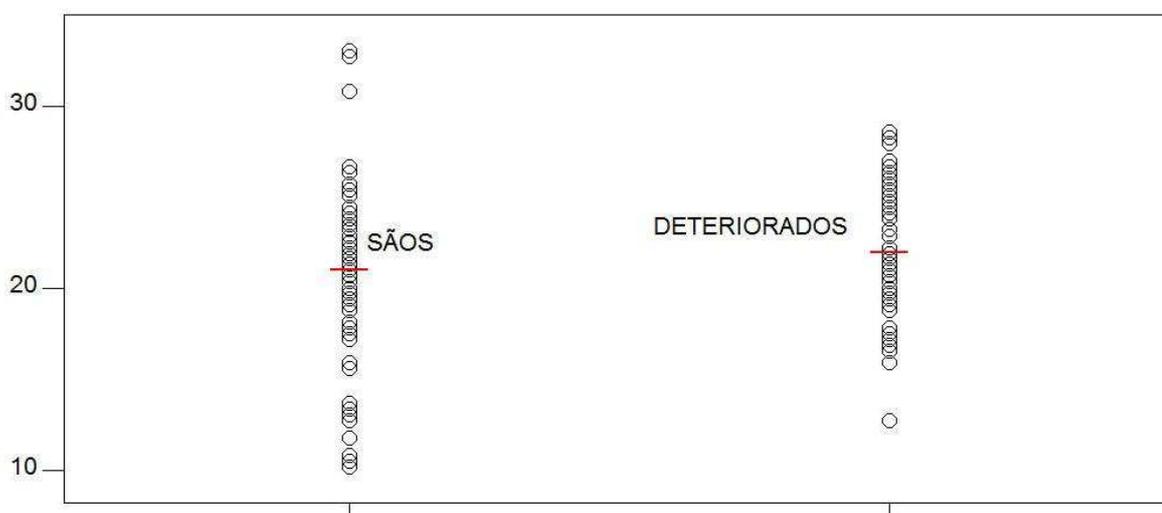


FIGURA 11.16 – Populações dos diâmetros dos postes SÃOS e DETERIORADOS

- **Teste-F para a idade dos postes**

H_0 : a variância das idades dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a variância das idades dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

$F_{obtido}: 1,310$ $F_{critico}: 1,476$

Valor P: 0,126

Conclusão: não rejeitar H_0

A Figura 11.17 compara a população dos postes SÃOS e DETERIORADOS. A dispersão das populações dos valores de diâmetro dos postes SÃOS e DETERIORADOS, e muito próxima, confirmando o teste-F realizado para estes dados.

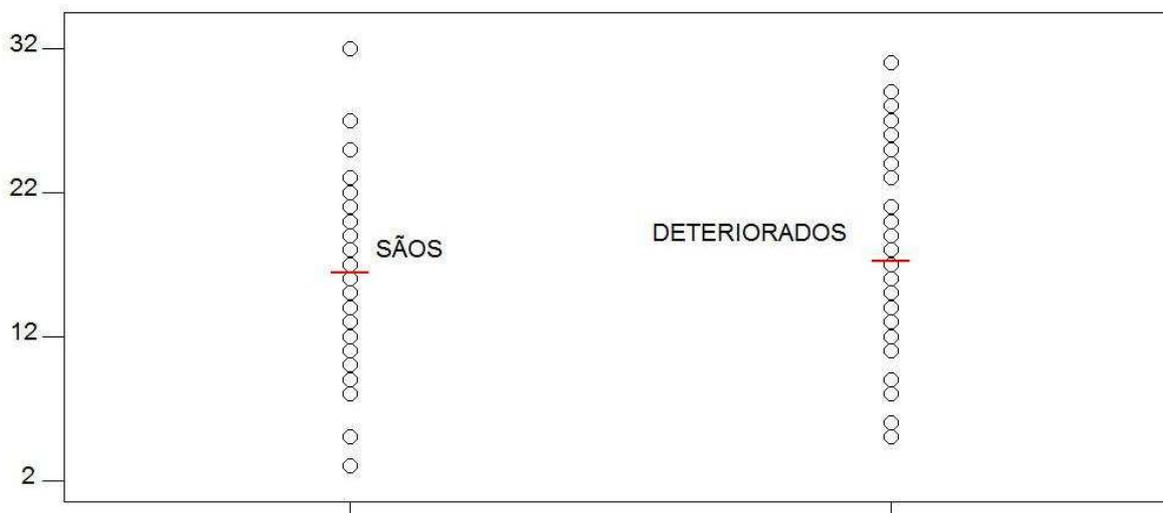


FIGURA 11.17 – Populações das idades dos poste SÃOS e DETERIORADOS

Pode-se observar que existe evidências estatísticas que as populações dos diâmetros dos postes SÃOS e DETERIORADOS, são diferentes entre si. Entretanto, o mesmo não pode ser dito com relação a estas populações para as idades dos postes.

11.4 Análise dos tratamentos preservativos

Em virtude dos tratamentos preservativos serem analisados através de variáveis qualitativas (CCA, CCB, Creosoto), o método de análise para estas é o Teste de Independência pelo χ^2 (Qui-quadrado)¹.

Para a realização do teste, monta-se a tabela de contigência, Tabela 11.11., estando em colunas as variáveis SÃOS e DETERIORADOS, e nas linhas as variáveis CCA, CCB e Creosoto.

¹ Ver Anexo I;

TABELA 11.11 – Frequência observada dos tratamentos

Tratamento	SÃOS	DETERIORADOS	Total
CCA	70	38	108
CCB	14	11	25
Creosoto	11	5	16
Total	95	54	149

Através das frequências observadas nos tratamentos, obtem-se as frequências esperadas, Tabela 11.12.

TABELA 11.12 – Frequências esperadas para os tratamentos

Tratamento	SÃOS	DETERIORADOS
CCA	68,86	39,14
CCB	15,94	9,06
Creosoto	10,20	5,80

Sendo a hipótese H_0 :

- H_0 : existe independência da deterioração dos postes com o produto preservativo utilizado;
- H_1 : existe dependência da deterioração dos postes com o produto preservativo utilizado;

Para²

$\nu = 2$ $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{crítico} = 5,991$ $\chi^2_{obtido} = 0,876$ Valor P = 0,645
(graus de liberdade)

Sendo o valor de χ^2_{obtido} menor que $\chi^2_{crítico}$, deve-se aceitar a hipótese H_0 .

Conclui-se que não foram encontradas evidências significativas de dependência entre os tratamentos dados à madeira e a ocorrência de postes deteriorados.

11.5 Testes de Hipótese (ANOVA)

O teste-F realizado anteriormente teve por finalidade identificar se as populações de valores são iguais.

² Valor de $\chi^2_{crítico}$ obtido pela tabela da página 248 de Costa Neto (2002);

Já o teste de hipótese realizado por ANOVA, tem como finalidade verificar se a média das populações são iguais. Assim para $\alpha = 0,05$, tem-se:

- **ANOVA para o diâmetro dos postes**

H_0 : a média das diâmetro dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média dos diâmetro dos postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 2,059

$F_{crítico}$: 3,905

Valor P: 0,153

Conclusão: não rejeitar H_0

- **ANOVA para a idade dos postes**

H_0 : a média das idades dos postes para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média das idades dos postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 0,575

$F_{crítico}$: 3,905

Valor P: 0,449

Conclusão: não rejeitar H_0

Apesar de haver evidências de que as populações de postes SÃOS e DETERIORADOS são diferentes em relação aos diâmetros, o teste por ANOVA não dá evidências que as média são diferentes, pois não se pode rejeitar a hipótese H_0 de igualdade das médias.

Porém o teste por ANOVA corrobora com o teste- F , para as idades dos postes SÃOS e DETERIORADOS. Já que as populações são iguais, espera-se que a as médias também sejam.

A seguir são mostrados os testes ANOVA para os dados climáticos temperatura, precipitação, meses secos, I_{ig} e $I_{ig:simplificado}$.

A escolha para este caso do teste ANOVA e não do teste- F , deu-se pois entende-se que estes valores não constituem populações no sentido real do termo estatístico. Entende-se que estes são “repetições” de valores, visto que há vários postes SÃOS bem como DETERIORADOS apresentando os mesmos valores, algo que é claro devido terem sido inspecionados vários postes em uma mesma cidade, e sendo cada cidade representado por um valor de temperatura, precipitação, meses secos, I_{ig} e $I_{ig:simplificado}$.

Neste caso, o rigor estatístico é deixado de lado pois as repetições de valores de temperatura, precipitação, I_{ig} e $I_{ig:simplificado}$ não apresentam normalidade. O teste ANOVA é realizado com o total conhecimento que a teoria exige que exista normalidade entre este valores.

O que aqui é proposto é um “teste de balança”, isto é, identificar se a repetição dos valores de temperatura, precipitação, meses secos, I_{ig} e $I_{ig:simplificado}$ “pesa” mais para um lado

ou para o outro da balança, postes SÃOS e DETERIORADOS, respectivamente. Quer se identificar se existe diferença de peso nesta balança, mesmo não atendendo o rigor estatístico.

Assim para $\alpha = 0,05$, tem-se:

- **ANOVA para temperatura**

H_0 : a média das temperaturas para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média das temperaturas para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 0,401

$F_{crítico}$: 3,905

Valor P: 0,528

Conclusão: não rejeitar H_0

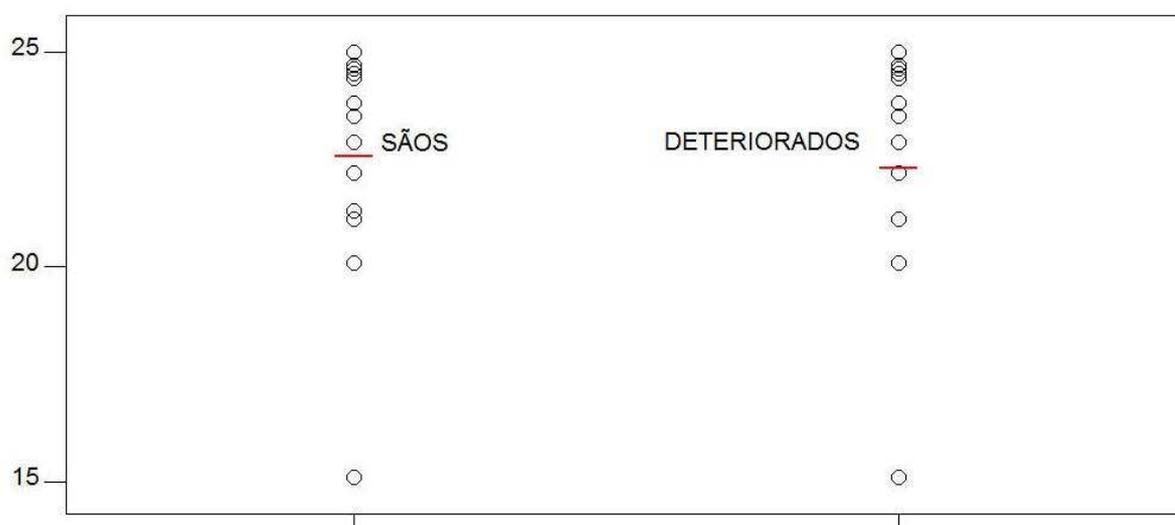


FIGURA 11.18 – Valores de temperatura para postes SÃOS e DETERIORADOS

- **ANOVA para precipitação**

H_0 : a média das precipitações para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média das precipitações para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 2,872

$F_{crítico}$: 3,905

Valor P: 0,092

Conclusão: não rejeitar H_0

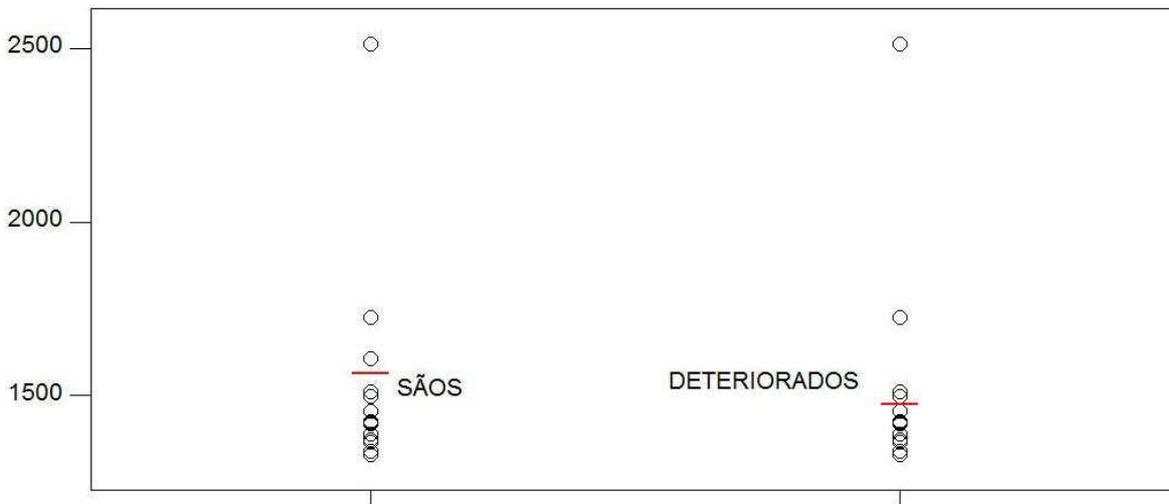


FIGURA 11.19 – Valores de precipitação para postes SÃOS e DETERIORADOS

- **ANOVA para meses secos**

H_0 : a média dos meses secos para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média dos meses secos para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 8,579

$F_{crítico}$: 3,905

Valor P: 0,004

Conclusão: rejeitar H_0

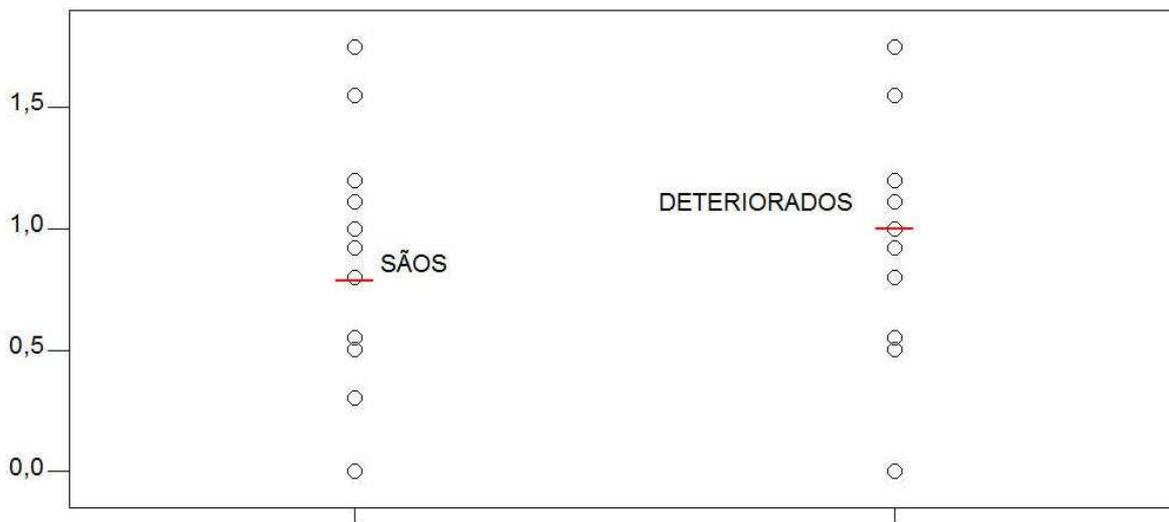


FIGURA 11.20 – Valores de meses secos para postes SÃOS e DETERIORADOS

- **ANOVA para I_{ig}**

H_0 : a média dos I_{ig} para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média dos I_{ig} para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 2,328

$F_{critico}$: 3,905

Valor P: 0,129

Conclusão: não rejeitar H_0



FIGURA 11.21 – Valores de I_{ig} para postes SÃOS e DETERIORADOS

- **ANOVA para $I_{ig; simplificado}$**

H_0 : a média dos $I_{ig; simplificados}$ para os postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a média dos $I_{ig; simplificados}$ para os postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

F_{obtido} : 0,103

$F_{critico}$: 3,905

Valor P: 0,749

Conclusão: não rejeitar H_0



FIGURA 11.22 – Valores de $I_{ig,simplificado}$ para postes SÃOS e DETERIORADOS

Pelo teste ANOVA, não é possível dizer que as médias são iguais para temperatura e precipitação.

Para I_{ig} e $I_{ig,simplificado}$ os valores também não são diferentes, o que condiz o esperado, pois se as variáveis que compõem o modelo de I_{ig} com maior influência conforme visto no Capítulo 8, não são diferentes para os postes SÃOS e DETERIORADOS, os valores de I_{ig} também não poderiam. O mesmo é válido para $I_{ig,simplificado}$.

Entretanto, as médias dos meses secos apresentam evidências estatísticas que são diferentes. Aqui é possível fazer esta afirmação dentro do rigor estatístico, pois os valores de meses secos apresentam normalidade dos dados.

Realizando o teste- F para os valores de meses secos, e é possível realizar em virtude da normalidade dos dados, para $\alpha = 0,05$, tem-se:

- **Teste- F para os meses secos dos postes**

H_0 : a variância dos meses secos dos postes SÃOS e DETERIORADOS são iguais;

H_1 : a variância dos meses secos dos postes SÃOS e DETERIORADOS não são iguais;

$$F_{obtido}: 1,515$$

$$F_{critico}: 1,513$$

$$\text{Valor } P: 0,051$$

Conclusão: não rejeitar H_0 (no limiar)

Pelo teste acima, o valor F_{obtido} está no limiar do valor crítico, quase permitindo uma rejeição da hipótese H_0 .

Assim através dos dois testes realizados para os meses secos, um rejeitando H_0 e outro no limiar da rejeição pode-se dizer que existem singelas evidências que esta variável possui influência no apodrecimento dos postes.

11.6 Grau de Deterioração

Para realizar uma análise da deterioração existente nos postes, determina-se o quociente entre o comprimento deteriorado e o diâmetro do poste, obtém um valor adimensional o qual será chamado *Grau de Deterioração*.

A Figura 11.23, mostra a distribuição de frequência absoluta para o *Grau de Deterioração*.

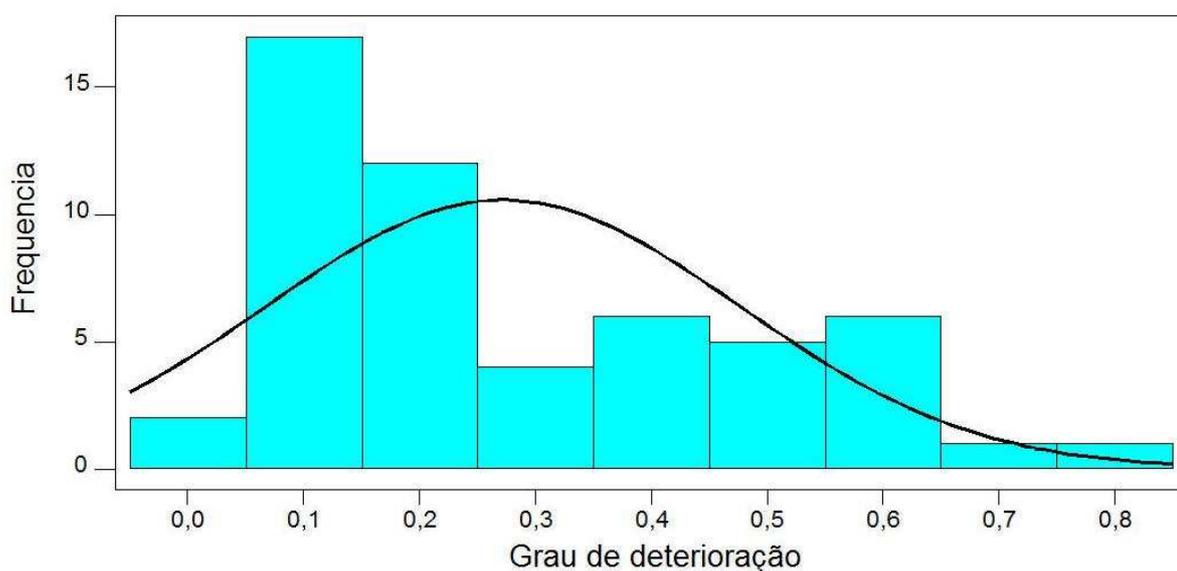


FIGURA 11.23 – Histograma de frequência absoluta do Grau de Deterioração

As Tabelas 11.13 e 11.14 mostram a estatística descritiva e os valores obtidos no teste de normalidade dos dados. Os valores do Grau de Deterioração apresentam normalidade.

TABELA 11.13 – Estatística descritiva do Grau de Deterioração

Estatística	Grau de Deterioração
N	54
Média	0,27
Desvio padrão amostral	0,20
Mínimo	0,03
Máximo	0,79
Amplitude	0,76
1° Quartil	0,10
3° Quartil	0,44

Conforme a Tabela 11.13, 25% dos postes DETERIORADOS possuem o Grau de Deterioração maior que 0,44 (3° Quartil), o que representa 9% do total dos poste inspecionados.

TABELA 11.14 – Teste de normalidade dos valores de comprimento deteriorado

Item	n	d_{crit}	d	Conclusão H_0
Grau de Deterioração	54	0,222	0,145	Não Rejeitar

A Figura 11.30 mostra a dispersão dos valores do Grau de Deterioração em torno na curva normal acumulada.

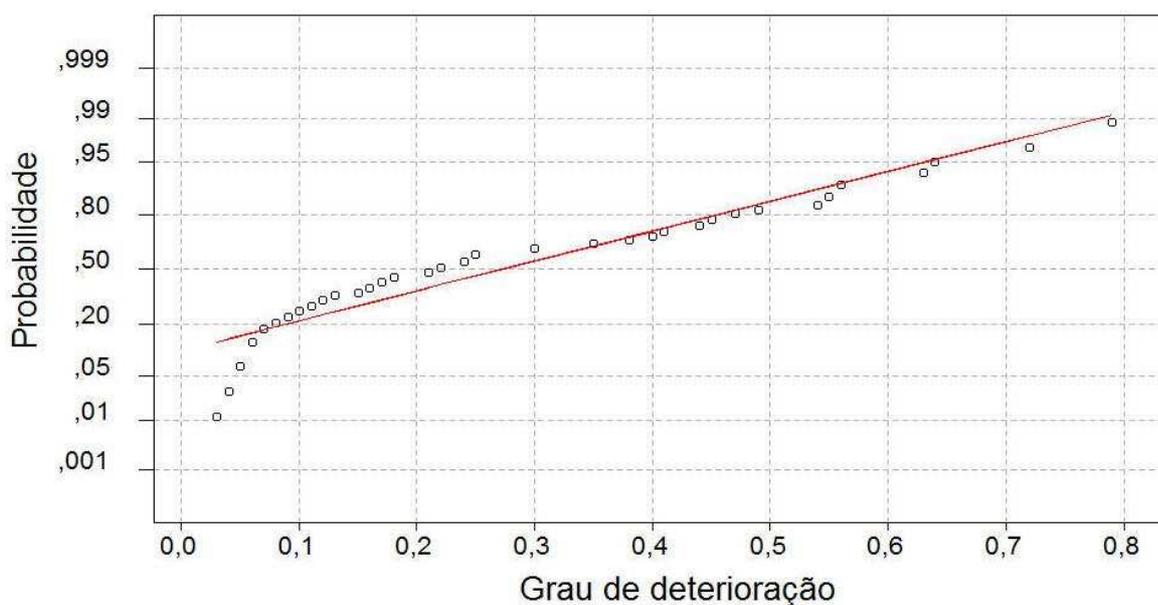


FIGURA 11.24 – Teste de normalidade para o Grau de Deterioração

Tomando como base o fator de degradação k_d dado pela Tabela 4.5 (AS/NZS 4676:2000), de 0,85, já adotado no ítem 8.7, tem-se uma redução da capacidade resistente de 0,15 ou 15%.

Adotando o valor de 0,15 como valor para o Grau de Deterioração limite, dos 54 postes DETERIORADOS, 37 apresentam um valor acima deste limite.

Estes 37 postes acima do limite representam 68% do postes DETERIORADOS e 25% do total de postes inspecionados.

11.7 Regressões

Utilizando apenas a população dos postes DETERIORADOS, a seguir são mostradas as regressões para os valores de comprimento deteriorado pelo diâmetro e idade dos postes, respectivamente.

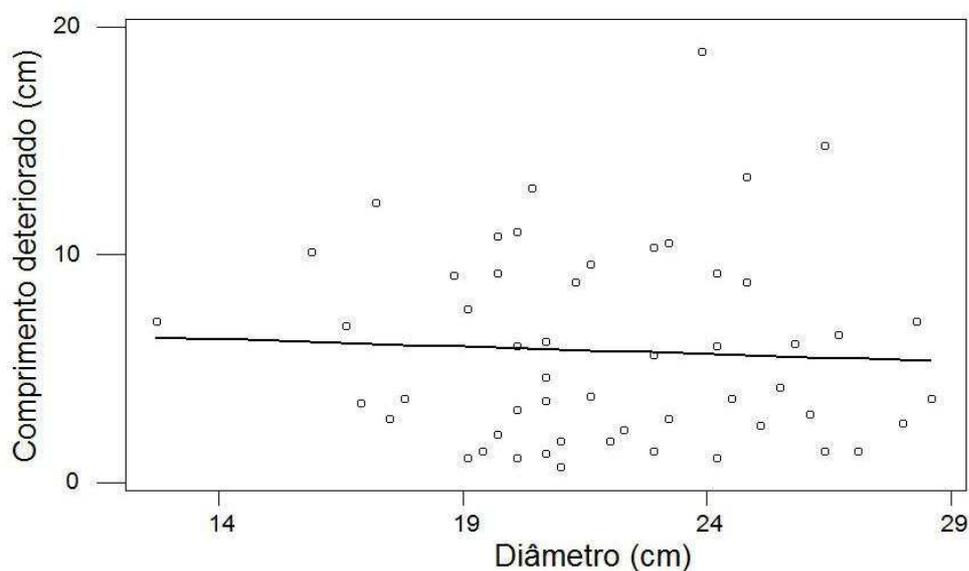


FIGURA 11.25 – Regressão Comprimento Deteriorado x Diâmetro

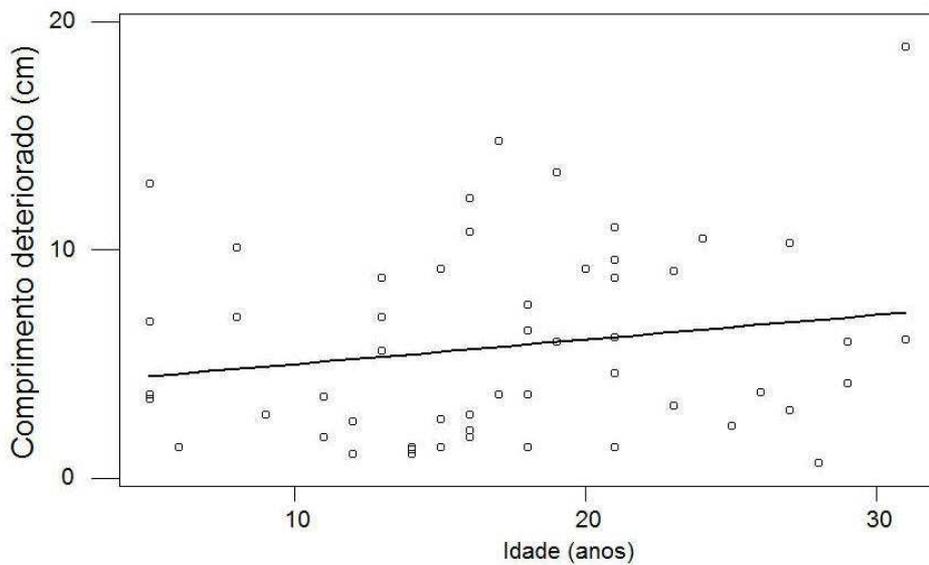


FIGURA 11.26 – Regressão Comprimento Deteriorado x Idade

Pelas Figuras 11.25 e 11.26 verifica-se que é inexistente a correlação entre os valores de comprimento deteriorado e o diâmetro, $r^2 = 0,3\%$.

Entretanto, é possível identificar uma tendência de aumento do comprimento deteriorado com o aumento da idade do poste, o que é de se esperar, Figura 11.30, apresentando um valor de $r^2 = 3,1\%$.

Realizando a regressão entre o Grau de Deterioração e a idade dos postes, não foi apresentada correlação entre os valores, obtendo-se $r^2 = 0,3\%$, Figura 11.27. Com os presentes dados, esta é única regressão possível de ser realizar para o Grau de Deterioração.

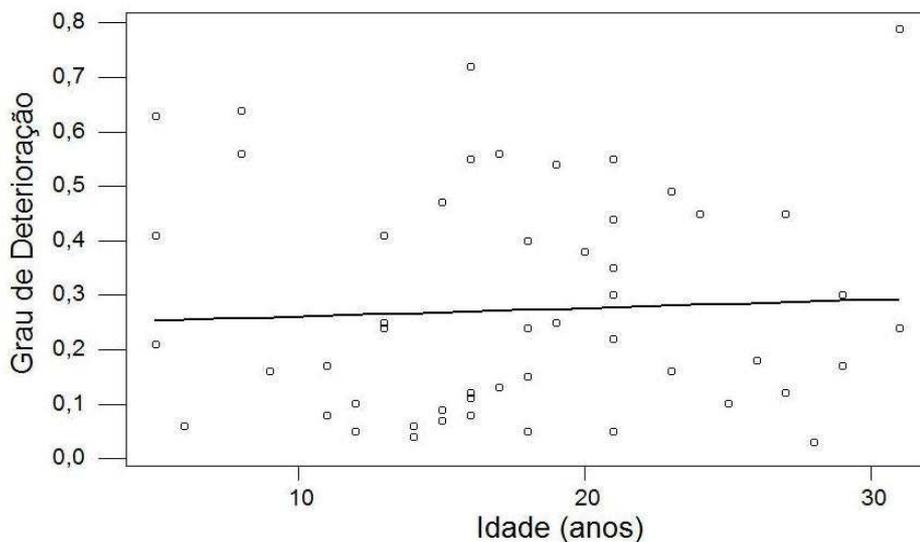


FIGURA 11.27 – Regressão Grau de Deterioração x Idade

11.8 Resumo das conclusões da análise de dados

Não foi possível identificar através das variáveis testadas, a existência de um fator que contribua para a deterioração e apodrecimento dos postes.

Apesar da variável N_{dm} (meses secos) mostrar uma tendência de distinção entre as populações de postes SÃOS e DETERIORADOS, deve-se analisar esta informação com cautela, pois como já dito anteriormente, os dados climáticos não formam uma população no sentido que realmente é tratado, e sim apenas uma repetição de dados.

Através da análise estatística pode-se concluir:

- I. A maior concentração de valores de comprimento deteriorado ocorre em 2 cm, apresentando uma queda gradual da frequência acima deste valor, sendo que esta população de dados possui normalidade;
- II. A população dos valores de diâmetro para os postes SÃOS possui maior dispersão de dados, quando comparada com a população de diâmetros para os postes DETERIORADOS;
- III. Não existem evidências estatísticas que indiquem que as populações de idade dos postes SÃOS e DETERIORADOS sejam diferentes;
- IV. Não existem evidências estatísticas que o tipo de produto preservativo influenciou na deterioração dos postes;
- V. Existem evidências estatísticas que indicam diferença entre as populações e as médias dos meses secos para os postes SÃOS e DETERIORADOS;
- VI. Ao se analisar o Grau de Deterioração, 25% dos postes inspecionados estão acima do valor limite (adotado) de 0,15.
- VII. Para os postes DETERIORADOS não existe correlação entre o comprimento deteriorado e o diâmetro do poste. Entretanto, existe uma pequena tendência de aumento do comprimento deteriorado com o aumento da idade do poste.
- VIII. Não existe correlação entre o Grau de Deterioração e a idade dos postes DETERIORADOS.

12 CONCLUSÕES

Muito pouco tem sido estudado sobre as patologias e durabilidade das estruturas de madeira no Brasil, tendo como indicativo deste descaso científico, a inexpressiva quantidade de trabalhos científicos publicados no EBRAMEM (Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira) desde sua criação em 1983. Dos 1552 artigos publicados nas 11 edições do EBRAMEM, apenas 2,4% dos artigos referem-se ao tema patologia e durabilidade das estruturas de madeira.

Como consequência, a atual norma de projeto de estruturas de madeira (em vigência), não prevê critérios para decisões deste âmbito, ficando de forma subjetiva a análise e tomada de decisão, no momento do desenvolvimento de um projeto estrutural.

Todas as estruturas, independente do material (madeira, aço ou concreto) estão sujeitas a um processo de degradação natural devido ao uso e ao meio em que esta estrutura se encontra. Ao longo do tempo, este processo proporciona um decréscimo nas propriedades da estrutura, comprometendo o seu nível de rendimento, serventia e segurança.

Tal processo de degradação pode ser minimizado com a realização de manutenções preventivas, e os efeitos sobre a estrutura podem ser minimizados com a execução de manutenções corretivas, aumentando o tempo total de vida útil¹. Estas ações de manutenção preventiva e corretiva necessitam de um alto grau de investimento financeiro, e mesmo assim o desempenho da estrutura não retorna ao nível inicial de utilização.

Entretanto, muito mais econômicas são as ações preventivas tomadas no momento do desenvolvimento do projeto. Porém, tais ações devem ser pautadas por critérios técnicos embasados por conhecimento científico validados. Estes critérios devem constar na norma de projeto utilizada no desenvolvimento da estrutura.

Um poste de madeira para eletrificação, apesar de ser elemento estrutural simples, está submetido a um intenso processo de degradação, em todo o seu comprimento. Porém é na chamada região de afloramento, que os postes estão submetidos a uma soma de fatores, que possibilita uma maior velocidade de degradação nesta região, sendo eles: umidade, insetos, fungos, vegetação, excrementos de animais, *Weathering*.

A norma de especificação de postes de madeira em vigência estabelece um tempo mínimo de vida útil de 15 anos, não levando em conta a influência do clima e solo.

¹ Vida útil = Vida útil de projeto + Vida útil residual

Para uma maior velocidade de degradação, sem sombra de dúvidas a presença de umidade local possui forte influência. Desta forma, ações devem ser tomadas para que seja minimizada a presença de umidade e concentração de água na região do afloramento. Como exemplo de tais ações tem-se o tratamento impermeabilizante no momento da fabricação do poste, e a execução de colarinhos de concreto de baixa permeabilidade quando necessário, no momento da instalação do mesmo.

Deve-se lembrar que um intenso processo de degradação ocorre nas cruzetas de madeira, as quais são instaladas tanto em postes de madeira bem como em postes de concreto.

Como fatores importantes deste processo têm-se:

- Concentração de água de chuva na superfície horizontal superior;
- Intensa exposição aos raios solares;
- Presença de excremento de aves;

Ao ser aplicado o modelo de Leicester para os dados climáticos do Estado de São Paulo, foram obtidos valores de I_{ig} entre 2,04 e 2,85, Campos do Jordão e Ubatuba, respectivamente, sendo a primeira, a cidade de menor temperatura média anual (15,1°C), e a segunda, a cidade de maior precipitação anual (2514 mm).

Ao se dividir os valores de I_{ig} em populações de $I_{ig < 2,50}$ e $I_{ig > 2,50}$, e realizando a análise de variância destas populações obteve-se os seguintes resultados:

- Deve-se rejeitar a hipótese H_0 das populações de temperatura serem iguais;
- Deve-se rejeitar a hipótese H_0 das populações de precipitação serem iguais;
- Não se deve rejeitar a hipótese H_0 das populações de meses secos serem iguais;

Realizando a simplificação do modelo de Leicester, com a retirada da variável N_{dm} (meses secos), obteve-se uma variação máxima de 11,9% entre I_{ig} para $I_{ig; simplificado}$, correspondendo à cidade de Catanduva.

Apesar da regressão entre I_{ig} e $I_{ig; simplificado}$ apresentar alto valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 83\%$), a correlação não apresenta independência de erro.

Ao se dividir os valores de $I_{ig; simplificado}$ em $I_{ig; simplificado < 2,50}$ e $I_{ig; simplificado > 2,50}$ obteve-se:

- Deve-se rejeitar a hipótese H_0 de que as populações das temperaturas são iguais;
- Não se deve rejeitar a hipótese H_0 de que as populações de precipitação são iguais;

Através do modelo simplificado, constatou-se que as 10 cidades de menor I_{ig} também são as de menor $I_{ig; simplificado}$. Porém, o mesmo não ocorre para as 10 cidades de maior I_{ig} . Destas, apenas 5 cidades estão entre as 10 cidade de maiores valores de $I_{ig; simplificado}$.

Apesar de não haver a coincidência das dez cidades de maiores I_{ig} e $I_{ig;simplicados}$, estatisticamente não há evidências estatísticas que os dez maiores valores de I_{ig} são diferentes em população dos seus respectivos $I_{ig;simplicado}$.

A melhor regressão entre I_{ig} e $I_{ig;simplicado}$ é a realizada entre os dez menores valores de I_{ig} e seus respectivos $I_{ig;simplicado}$, sendo esta a mais próxima da reta identidade.

Através desta regressão foi possível propor um modelo final ajustado de índice climático de apodrecimento de madeira em contato com o solo, o I_{LL-SP} . Este modelo está ajustado aos dados do Estado de São Paulo, o não possuindo a necessidade da variável N_{dm} (meses secos) com a obtenção de aproximadamente os mesmos valores iniciais obtidos através do Modelo de Leicester. Assim são possíveis dois modelos alternativos ao modelo inicial ao de Leicester: o $I_{ig;simplicado}$ e o I_{LL-SP} .

As inspeções dos postes deram a oportunidade de se utilizar uma nova metodologia ainda muito pouco conhecida nacionalmente. A perfuração controlada, que é de extrema facilidade de realização, se mostra muito promissora para inspeções de estruturas de madeira em serviço, possibilitando uma real análise do interior de um elemento estrutural.

Os dados obtidos nas inspeções não possibilitaram a identificação de uma possível variável que apresente correlação com a deterioração dos postes.

A regressão entre o comprimento deteriorado e a idade, apresentou uma baixíssima correlação positiva, o que é corroborado pelo senso comum de aumento da degradação com o passar do tempo.

Do total de postes inspecionados, 25% apresentaram valor do Grau de Deterioração acima de 0,15, e 9% deste total apresentaram Grau de Deterioração acima de 0,44.

Como sugestão de estudos futuros tem-se:

- Verificação da viabilidade do uso do pínus como postes de eletrificação;
- Análise da contribuição das características do solo (tipo, granulometria, pH), do microclima (umidade, vegetação) e do processo de lixiviação, identificado em estudo anterior, no processo de apodrecimento do afloramento do poste;
- Análise da influência do Grau de Deterioração, na capacidade resistente dos postes em serviço, utilizando a inspeção controlada como metodologia de inspeção;
- Utilização da perfuração controlada na inspeção de estruturas em serviço;

Como já dito anteriormente, muito pouco tem sido estudado sobre as patologias e durabilidade das estruturas de madeira no âmbito nacional. Espera-se que este trabalho contribua para que os olhares técnicos e acadêmicos se voltem para este horizonte muito pouco explorado.

Para o término deste trabalho cita-se novamente:

Quando devidamente estudada e adequadamente empregada, respeitando-se a essência de sua estrutura interna, a madeira é um material estrutural de primeira qualidade, cujo emprego deverá crescer consideravelmente nos anos vindouros, (FUSCO, 1989).

* * *

REFERÊNCIAS¹

AGGARWAL, K.K. *Reliability engineering: topics in safety, reliability and quality*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. v.3.

ANIDO-LOPEZ, R.; GARDNER, D.J.; HENSLEY, J.L. Adhesive bonding of eastern hemlock glulam panels with E-glass/vinyl ester reinforcement. *Forest Products Journal*, v.50, n.11/12, p. 43-47, 2000.

ALAWADY, M.; AVENT, R.R.; MUKAI, D. Repair of timber poles by injection grouting. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5. Montreux-Suíça, 1998. *Proceedings...* Montreux: Swise Federal Institute of Technology Lausanne, 1998. p.610-7.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS *ASTM D 25/99: standard specification for round timber piles*. Philadelphia,1999.

AMERICAN WOOD-PRESERVES' ASSOCIATION *AWPA-M13: a guide line for the physical inspection of poles in service*.Canada,1992.

ANDERSON, D.R.; SWEENEY, D.J.; WILLIAMS, T.A. *Estatística aplicada à administração e economia*. Tradução de Luiz Sérgio de Castro Paiva. 2.ed.. São Paulo: Ed. Pioneira, 2002. p.439-509.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *NBR 6231: postes de madeira – resistência à flexão*. Rio de Janeiro,1980.

_____ *NBR 8456: postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – especificação*. Rio de Janeiro,1984.

_____ *NBR 8457: postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia – padronização*. Rio de Janeiro,1984.

_____ *NBR 7190 : projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro,1997.

_____ *Projeto 02:136.01.001:2002: desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimento – Parte 1: requisitos gerais*. Rio de Janeiro.2002.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 6023.

AUSTRALIAN STANDARD AS 1604.1: specification for preservative treatment. Part 1: sawn and round timber. Sydney, 2005.

_____ AS 1720.2 : timber structures. Part 2: timber properties. Sydney,1990.

_____ AS 2209 : timber – poles for overhead lines. Sydney,1994.

_____ AS 5604: timber – natural durability ratings. Sydney, 2005.

AUSTRALIAN / NEW ZEALAND STANDARD. AS/NZS 4676: Structural design requirements for utility services poles. Sydney,2000.

BARILLARI, C.T.; JANKOWSKY, I.P.; FREITAS, V.P. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus spp.*, tratada com CCA tipo A e CCB, após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento. *Floresta*, v.32, p.87-91, 2002.

BORGES, P.C. *Corrosión en estructuras de concreto armado*. México: IMCYC, 1998.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. *Indicações para a utilização da madeira de seis espécies e variedades de pínus na construção civil*. São Carlos, 1993, 119p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,1993..

BOTTAZZO, W.; OLIVEIRA E SILVA, C.; NETTO, F.R.; BONINI, W.; FILHO, V.M; PACE, A. Manutenção preventiva em postes de madeira tratada. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 10. Rio de Janeiro, 1988. *Anais...* Rio de Janeiro: Ligth, 1988.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Portaria nº 447 de 31 de dezembro de 2004. Aprova a revisão nº 1, do Manual de Operacionalização dos critérios técnicos, financeiros, procedimentos e prioridades que serão aplicados ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 5 jan. 2005. v.142, n.3, p.24.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa Nº 132 de 10 de novembro de 2006.

BUENO, O.C. et al. Controle biorracional de cupins em postes de madeira. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Brasília, 2001.

CALIL JUNIOR, C. O potencial do uso do pínus na construção civil. *Téchne*, n.60, p. 44-8, mar., 2002.

CAMPOS, J.A.O.; OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Método para avaliação da durabilidade em estruturas de madeira. In ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 8. Uberlândia, 2002.

CAMPOS, J.H. A utilização de postes de madeira na eletrificação rural. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 1. out., 1982.

CARVALHO, R.F.; CALIL JUNIOR., C. Compósito de fibras de sisal para reforço de estruturas de madeiras. In: CONGRESSO ÍBERO - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., Guimarães, 2004. *Anais*. Guimarães: Universidade do Minho, 2004. p.459-68.

CASTRO SILVA, J. Durabilidade do eucalipto ao ataque de cupins. *Revista da Madeira*, ago., 2003.

CAVALCANTE, M.S. *Deterioração biológica e preservação de madeiras*. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1982.

CPFL ENERGIA *Norma Técnica 3648*: projeto de rede de distribuição – Calculo mecânico, 2005.

COLEMAN, P. Fiber glass trumps wood: TEP selects composite poles replacement and new distribution construction. *Transmission & Distribution World*, Apr. 2002.

COSTA, L.A.; WATAI, L.T. Cruzetas de madeira de reflorestamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 11. Blumenau, 1992.

COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

CREWS, K.I.; HERRIGON, A.; BOUGHTON, G. Assessment of characteristic properties for utility poles in Australia. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5. Montreux-Suíça, 1998. *Proceedings...* Montreux: Swise Federal Institute of Technology Lausanne, 1998. p.618-25.

CRUZ, H.; CUSTÓDIO, J.; NASCIMENTO, J., EMPIS, M. Execução e controle de qualidade da reparação de estruturas de madeira com colas epoxídicas e frps. In: CONGRESSO ÍBERO - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., Guimarães, 2004. *Anais...* Guimarães: Universidade do Minho, 2004. p. 569-78.

DAVALOS, J.F.; QIAO, P. Development of a prototype composite-reinforced timber railroad crosstie. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5. Montreux-Suíça, 1998. *Proceedings...* Montreux: Swise Federal Institute of Technology Lausanne, 1998. p.494-501.

DEGROOT, R.C. *Groundline treatments of Southern Pine posts*. Madison: Forest Products Laboratory, 1981. (FPL-RP-409).

_____. *Durability of utility poles in Panama*. Madison: Forest Products Laboratory, 1986. (FPL-RP-478).

DUARTE, A.C.R.; NEGRÃO, J.H.O.; CRUZ, H.M.P. Reabilitação de vigas de madeira com argamassa epoxídica armada. In: CONGRESSO ÍBERO - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., Guimarães, 2004. *Anais...* Guimarães, Universidade do Minho, 2004. p. 489-96.

FIORELLI, J. E : DIAS, A.A. Fibras de vidro e fibras de carbono reforçando estruturas de madeira. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS, 5., São Carlos, 2002. *Resumos estendidos...* São Carlos, Departamento de Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais - IFSC/IQSC/EESC, 2002. p. 123.

FOSROC REAX Guia de produtos. São Paulo: abr., 2002.

FREITAS, R.R.; CALIL JUNIOR, C. Compósito de madeira para reforço de postes de eletrificação In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DOS MATERIAIS, 7., São Carlos, 2004. *Anais...* São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004. p.29-30.

FUSCO, P.B. *Estruturas de concreto: Introdução ao projeto estrutural*. São Paulo: McGraw-Hill/Edusp, 1976a.

_____. *Estruturas de concreto: fundamentos estatísticos da segurança das estruturas*. São Paulo: McGraw-Hill/Edusp, 1976b.

_____. Os caminhos da evolução da engenharia das madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. *Anais...* São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989. v.6, p.7-18.

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

GREEN, D.W.; HERNANDEZ, R. Standards for structural wood products and their use in the United States. *Wood Design Focus.*, v.9, n.3, p.3-12, 1998.

HELENE, P.R.L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto, 2a.ed.. São Paulo: Pini, 1992.

HOWARD, J.L. *U.S. timber production, trade, consumption, and price statistics 1965-2000*. Madison. Forest Products Laboratory, Apr. 2001. (FPL-RP-595).

HIGHLEY, T.L. Biodeterioration of wood. In: *Forest Products Laboratory, Wood handbook: wood as engineering material*. Report FPL-GTR-113. Madison, 1999. Cap.13, p.13-1/13-16.

IBACH, R.E. Wood preservation. In: *Forest Products Laboratory, Wood handbook: wood as engineering material*. Report FPL-GTR-113. Madison, 1999. Cap.14, p.14-1/14-27.

JOSÉ CARLOS, V.; DUARTE BUENO, L.C.; MACHADO, J.P.M. A madeira preservada na distribuição de energia. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, I., Belo Horizonte, 1990.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Biodeterioração de madeiras em edificações*. São Paulo, 2001.

KROPF, F.W. Design and maintenance of weather exposed wooden structures for better durability. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6. Florianópolis, 1998.

LAPAGE, E.S. Preservativos e sistema preservativos. In: MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v.1.

LEICESTER, R.H. *Engineered durability for timber construction*. Highett, Australia, CSIRO, 2001. p.2-12,

LEICESTER, R.H. et al. *An engineering model for the decay of timber in ground contact*. In: ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION, 34. Stockholm, Sweden, 2003.

LEVINE, D.M.; BERENSON, M.L.; STEPHAN, D. *Estatística: teoria e aplicações*. Tradução de Teresa Cristina Padilha de Souza. São Paulo: LTC, 2000.

LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A.. Implantação de programa de manutenção em postes de madeira. Rio de Janeiro, 1994.

LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; VIEIRA, R.S. Detecção de regiões deterioradas no interior do caule de árvores vivas mediante o uso do RESISTOGRAPH® F400-S. In: *ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA*, 10., São Pedro, 2006. *Anais*. São Carlos, IBRAMEM, 2006.

LOPEZ, G.A.C.; MILANO, S. Avaliação da durabilidade natural da madeira e de produtos usados na sua proteção. In: *MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v. 2, p.473-521.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1989.

MANZIN, E.; VEZZOLI, C. O Otimização da vida dos produtos. In: -----*Desenvolvimento de produtos sustentáveis*. Tradução de Astrid de Carvalho. São Paulo: Edusp, 2005. cap.5, p.181-209:

MATOS, J.L.M. Qualidade da madeira de pinus. *Revista da Madeira*, dez.,2002.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Durabilidade. In: *Estruturas de concreto: estrutura, propriedades e materiais*. Tradução de Denise Caperna Coitinho Dal Molin. São Paulo: Pini, 1994. cap.5, p.119-86.

MINÁ, A.J.S. et. al. Comentários sobre a NBR 6231/1980 : postes de madeira – Resistência à flexão. In: *ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA*, 10., São Pedro, 2006.

MORREL, J.J. *Wood pole maintenance manual*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, 1996.

OBINO, C.R. Método de preparação de postes de eucalipto para receber tratamento. São Paulo: ABPM, 1987. (Boletim Técnico, nº51.)

O'CONNOR, J.; DANGERFIELD, J. The environmental benefits of wood construction. In: *WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING*, 8, Lahti, Finland, June, 2004. *Proceedings*.. Finland, p.171-6.

OLIVEIRA et al. Agentes destruidores da madeira. In: MANUAL de preservação de madeiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v.1.

PAES DE CAMARGO et al. *Conceituação*. Disponível em: <<http://www.ciagro.sp.gov.br/clima/Conceitua%E7%E3o/Conceitua%E7%E3o.htm>>. Acesso em : 24 julho 2007

PERTILE, F.L. et al. *Retratamento de postes de madeira: a experiência da CEEE*. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, I., Belo Horizonte, 1990.

PFEIL, W; PFEIL, M. Produtos de madeira e sistemas estruturais. In: _____ --- *Estruturas de madeira*. 6a ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2003. cap.2, p.9-26:

PRID – PROYECTO subregional de promocion industrial de la madeira para construcion: manual del grupo andino para preservação de Madera. Lima, 1988.

RANDAZZO, C.A. Composites USA: past, present and futuro. *Reinforced Plastic*, Sept. 1996.

REVISTA DA MADEIRA. A madeira de eucalipto para poste, ed.59, set. 2001.

REZENDE, J.L.P.; NASCIMENTO, A.M.; OLIVEIRA, A.D. *Análise econômica da preservação de madeiras*. Viçosa: UFV, 1993. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia Florestal).

ROMANO, E. Madeira: o material de construção mais eco-eficiente. In: CONGRESSO ÍBERO - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., Guimarães, 2004. *Anais*. Guimarães, Universidade do Minho, 2004. p.391-400.

SACCO, A.A. *Custo de produção dos postes de eucalipto tratado*. São Paulo: ABPM, 1983. (Boletim Técnico, nº.3)

SALES, A.; PORTELLA, K.F.; GRIGOL, E.J.; RECH, P.; OLIVEIRA, F.G.R.; CAMPOS, J.A.O. Durabilidade de postes de madeira utilizada em redes de distribuição de energia elétrica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8, Uberlândia, jul., 2002.

SALES, A., PORTELLA, K.F., GRIGOL, E.J.; RECH, P. Procedimentos para o aumento da durabilidade de postes de madeira utilizados em redes de distribuição. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA ANEEL, 2., Brasília, 2003. p.567-9.

SALES, A.; GRIGOL, E.J.; BENTO, F.R.; PORTELLA, K.F.; MASCARO, L.H. Estudo da durabilidade de postes de eucalipto tratados com CCA utilizados no sul do Brasil. In: CONGRESSO ÍBERO - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., Guimarães, 2004. *Anais*. Guimarães, Universidade do Minho, 2004. p.287-92.

SCHEFER, T.C. A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. *Forest Products Journal*, v.21, n.10, 1971.

SILVA, J.F. et al. Climatologia aplicada ao uso da madeira. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPOSADOS DE MADEIRA TROPICAL, 1, Belém, nov., 2001.

SILVA OLIVEIRA; J.T; CASTRO SILVA, J., Durabilidade natural e preservação da madeira de eucalipto. *Revista da Madeira*, ago., 2001.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: *Forest Products Laboratory, Wood handbook: wood as engineering material*. Madison: Report FPL-GTR-113. Madison, 1999. cap.3, p.3-1/3-24.

TOMASELLI, I.; TUOTO, M. Oferta de pinus no Brasil. *Revista de Madeira*, v. 1, p.6-8, maio, 2003.

URIARTT, A.A. A madeira como material de construção. In: FALCÃO BAUER, L.A. *Materiais de construção*. 5a ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2001. v. 2, p.437-525.

VALLE, A.; BRITES, R.D.; LOURENÇO, P.B. Uso da perfuração controlada na avaliação de degradação da madeira em edificações antigas – estudo de caso. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., São Pedro, 2006.

WATAI, T.L. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. São Paulo: ABPM, 1991. (Boletim Técnico 71).

WHEELER, A.S.; HUTCHINSON, A.R. Resin repairs to timber structures. *Adhesion & Adhesives*, n.18, p.1-13, 1998.

WOLFE, R.W. Round timbers and ties. In: *Forest Products Laboratory, Wood handbook: wood as engineering material*. Report FPL-GTR-113. Madison, 1999. Cap.18, p.18-1/18-14.

GLOSSÁRIO

Alburno: parte externa do tronco de uma árvore que geralmente se distingue da parte interna pela sua cor mais clara. Normalmente o alburno contém substâncias de reserva, por exemplo, amido, e é permeável à passagem de líquidos.

Altura do poste ($H = L - e$): comprimento nominal total menos o comprimento de engastamento.

Altura útil do poste ($h = H - 0,20$ m): altura do poste, menos a distância do topo ao plano de aplicação dos esforços.

Anel de crescimento: camada de crescimento do lenho, formada durante o período vegetativo, caracterizada pelo contraste, mais ou menos marcante na seção transversal, do lenho tardio de um período e o lenho inicial do período seguinte.

Base: seção transversal externa da parte inferior do poste.

Casca: todos os tecidos que ficam por fora do cilindro do lenho das árvores.

Cerne: parte do lenho constituída por camadas internas que, na árvore em crescimento, cessaram de conter células vivas e cujas substâncias de reserva (como por exemplo, o amido) foram consumidas ou transformadas em outras peculiares ao cerne.

Chanfro: corte, em ângulo, da extremidade superior do poste.

Comprimento de esgastamento ($e = 0,1 \times L + 0,6$ m): comprimento calculado para realizar o engastamento do poste no solo.

Comprimento nominal (L): distância entre o topo e a base.

Curvatura: desvio de direção do poste.

Descascamento: eliminação da casca de um poste.

Empilhamento: operação de dispor os postes em determinada forma, para secagem ou armazenamento.

Entalhe: corte de superfície plana localizado na face do poste e normal aos furos.

Eta de condicionamento: fase inicial do processo de impregnação sob pressão, na qual a madeira é submetida a um aquecimento a vapor ou em solução preservativa oleosa, com a finalidade de reduzir o seu teor de umidade antes de receber o preservativo.

Face do poste: superfície no lado côncavo (o de menor raio de curvatura), nos postes com curva numa só direção, superfície de menor raio de curvatura entre a linha de afloramento e o topo, nos postes com curvas reservas ou duplas.

Fenda: separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras, em geral transversalmente aos anéis de crescimento, podendo se estender de um lado a outro do poste, e nesse caso é denominada fenda diametral.

Furos: abertura cilíndrica e perpendicular ao eixo longitudinal do poste, passando pelo eixo, e destinada a fixação de materiais, equipamentos e cabos.

Greta: separação da madeira em sentido radial, cujo desenvolvimento não chega a afetar a superfície do poste.

Incisão: corte, em profundidade e distância determinadas, praticado na superfície de postes de essenciais, resistentes à impregnação, com a finalidade de obter melhor penetração do preservativo.

Inclinação do veio: desvio angular em relação ao eixo longitudinal do poste.

Ingrediente ativo: padrão cujos termos se define usualmente a composição ponderal, em percentagem, das formulações preservativas. Esses padrões podem ser elementos, como fluor e boro, óxidos de elementos como CuO , CrO_3 e As_2O_5 , ou substâncias químicas, como pentaclorofenol. Não serão expressos em ingredientes ativos os compostos cuja única finalidade é de omitir a corrosão ou acertar o ph da solução preservativa.

Linha de afloramento: interseção da superfície lateral do poste com o plano do solo. A linha de afloramento é o limite superior do comprimento de engastamento.

Madeira bruta ou roliça: empregada em forma de tronco, servindo para estacas, escoramentos, postes, colunas, etc;

Madeira compensada: formada pela colagem de lâminas finas, com as direções das fibras alternadamente ortogonais;

Madeira falqueada: com as faces laterais aparadas a machado, formando seções maciças, quadradas ou retangulares, utilizada em estacas, cortinas cravadas, pontes etc;

Madeira laminada e colada: madeira selecionada cortada em lâminas, de 15 mm a 50 mm de espessura, coladas sob pressão, formando vigas em geral de seção retangular;

Madeira preservada: a que contém preservativo em quantidade suficiente, de maneira a aumentar significativamente a sua resistência aos agentes biológicos.

Madeira recomposta: produtos na forma de placas desenvolvidas a partir de resíduos de madeira em flocos, lamelas ou partículas

Madeira sã: madeira cuja estrutura não foi afetada por agentes biológicos.

Madeira serrada: é o produto estrutural de madeira mais comum, sendo cortado em serrarias em dimensões padronizadas para o comércio;

Nó: parte inicial de um galho, remanescente no poste.

Orifício: defeito que se manifesta como abertura da seção aproximadamente circular, originada especialmente pelo desprendimento de um nó.

Plano de aplicação dos esforços: plano transversal onde se aplicam os esforços definidos nesta especificação e situada a 200 mm do topo.

Plano transversal: plano normal ao eixo do poste.

Poste preservado: aquele cujo alburno contém preservativo em quantidade suficiente para protegê-lo dos agentes biológicos de deterioração.

Poste: peça de madeira, de eixo sensivelmente retilíneo, sem emendas, adequada para construir uma coluna esbelta, engastada verticalmente no solo, e destinada a suportar linhas aéreas.

Preservativo de madeira: substâncias ou formulação química de composição e características definidas, que deve apresentar as seguintes propriedades:

- a) alta toxidez aos organismos xilófagos;
- b) alta penetrabilidade através dos tecidos lenhosos permeáveis;
- c) alto grau de fixidez nos tecidos lenhosos;
- d) alta estabilidade química;
- e) incorrosividade aos metais;
- f) imprejudicabilidade às características físicas e mecânicas da madeira;
- g) segurança para manipulação.

Processo de preservação: conjunto de operações destinadas a aplicar o preservativo na madeira, resultando numa impregnação adequada dos tecidos lenhosos, sem ocasionar lesões prejudiciais à estrutura das peças, ou alterações sensíveis em suas características físico-mecânicas.

Protuberância ou nó fechado: parte terminal de um galho, remanescente no postes em que não chega a abrir-se na superfície do mesmo.

Racha: Separação dos tecidos lenhosos, ao longo das fibras, entre dois anéis de crescimento.

Resistência nominal (Rn): carga que o poste pode suportar sem sofrer deformações permanentes; deve ser considerada como uma força contida no plano de aplicação dos esforços e passando pelo eixo do poste.

Retenção: quantidade de preservativo, contida de maneira uniforme num determinado volume de madeira, expressa em quilograma de ingrediente ativo de preservativo por metro cúbico de madeira tratável.

Ruptura do poste: desagregamento da peça em uma seção transversal, por haver sido ultrapassado o limite de resistência da madeira. É definida quando se atinge a carga máxima do ensaio (denominada “Carga de ruptura”).

Sinuosidade: desvio de direção do poste, medido em um comprimento definido.

Topo: seção, transversal extrema da parte superior do poste, excluindo o chanfo ou bisel.

Tratamento preservativo: tratamento a que se submete o poste com substâncias letais aos agentes biológicos de destruição, visando a proteção da peça.

Usina de preservação: unidade industrial dotada de autoclave, tanques e bombas de vácuo e pressão destinada ao tratamento preservativo das madeiras.

Valor nominal de uma grandeza: valor dessa grandeza indicada e garantida pelo fornecedor.

Veio inclinado: veio que se desvia da direção longitudinal do poste.

Veio: Disposição em direção longitudinal dos elementos constitutivos da madeira. Pode ser expresso com veio reto, inclinado, entrelaçado, etc.

REFERÊNCIAS DO GLOSSÁRIO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8456 – Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica*. Rio de Janeiro.

PFEIL, W; PFEIL, M. Produtos de madeira e sistemas estruturais. In: _____ --- *Estruturas de madeira*. 6. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2003. cap. 2, p. 9-26:

ANEXO A – ARTIGOS SOBRE DURABILIDADE PUBLICADOS NOS EBRAMEM’S – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS

EBRAMEM II

1. PATOLOGIA DA MADEIRA NAS CONSTRUÇÕES - Marcos Jorge A. Santana.

EBRAMEM IV

2. COMO SE GARANTE DURABILIDADE EM UMA CONSTRUÇÃO DE MADEIRA ATRAVÉS DE DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS - Antonio Carlos de Oliveira, Varlete A. Benevente, Jaime Galindo.
3. ESTUDO PATOLOGICO E TERAPÊUTICO PARA A ESCADE DE MADEIRA DA PMFS - Jorge Fortes Filho.
4. RECUPERAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA - Fabio Armando Botelho Cordovil, Daniel D. Loriggio.

EBRAMEM VI

5. PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - Roberto Vasconcelos Pinheiro, Francisco Antonio Rocco Lahr.

EBRAMEM VII

6. BIODETERIORAÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL EM RESIDÊNCIAS Maria Beatriz Bacellar Monteiro e Takachi Yojo.
7. RECUPERAÇÃO DE COBERTURA DE MADEIRA - Eduardo Chaud, Átila Junho de Souza e Luciana Nunes Magalhães.

EBRAMEM VIII

8. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE UMA PASSARELA PÊNSIL EM MADEIRA - Janaina A. O. de Campos, Almir Sales.
9. DURABILIDADE DE POSTES DE MADEIRA ULIZADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - Almir Sales, Kleber Franke Portella, Evandro João Grigol, Paulo Rech, Fabiana G.R. de Oliveira, Janaina A.O. Campos
10. EXAME DE SANIDADE BIOLÓGICA E ANÁLISE ESTRUTURAL NO MADEIRA MENTO DE GINÁSIO POLIESPORTIVO - Maria Beatriz Bacellar Monteiro, Takashi Yojo, Gonzalo Antonio Carbelleira Lopez.

11. MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - Janaina A. O. de Campos, Almir Sales.
12. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - Eduardo Chahud, Flávia Caetano Carvalho, Luciana Nunes Magalhães.
13. RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA USANDO COMPOSITOS DE SERRAGEM COM POLIURETANO - Cristiane P. Marin, José A. Matthiesen.
14. REFORÇO COM FIBRA DE VIDRO NA REGIÃO DAS RÓTULAS DE VIGAS GERBER EM MADEIRA LAMINADA COLADA - Altevir Castro dos Santos, Carlos Alberto Szucs, Feliz Alberto Diaz Diaz.
15. RESISTÊNCIAS DE SETE PAINÉIS A BASE DE MADEIRA AO ATAQUE DE CUPINS SUBTERRANEOS, EM ENSAIO DE ALIMENTAÇÃO FORÇADA - Juarez B. Paes, Kuelson Maciel, Ildefonso E. C. Ramos, José T. Santos.

EBRAMEM IX – Tópico exclusivo

16. ANÁLISE DA DURABILIDADE PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA - Rodrigo Nunes de Oliveira, Alcebíades Negrão Macedo.
17. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE UMA EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE DE INTERESSE SOCIAL APÓS CINCO ANOS DE CONSTRUÇÃO - Marcio Sampaio Sarmet Moreira, D~elio Porto Fassoni, Rita de Cássia Silva Santana Alvarenga.
18. COMPÓSITO DE FIBRAS DE SISAL PARA REFORÇO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA - Ricardo Fernandes Carvalho, Carlito Calil Junior.
19. DURABILIDADE DE POSTES DE EUCALIPTO UTILIZADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL - Almir Sales, Evandro João Grigol, Fabio Ricardo Bento, Kleber Franke Portella, Lucia Helena Mascaro.
20. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE COBERTURAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS EM FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA - Gisele Marilha Pereira Reginatto, Paulo Henrique Quiumento Velloso, Ana Paula da Silva Machado, Ângela do Valle, Rodrigo Figueiredo Terezo.
21. RESTAURAÇÃO EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS NO CENTRO HISTÓRICO DE SALVADOR - Isabela Pereira Cruz, Erundino Pousada Presa, Mario Mendonça de Oliveira.

EBRAMEM X – Tópico exclusivo

22. RESISTÊNCIA NATURAL DE SETE MADEIRAS A CUPINS SUBTERRÂNEOS EM ENSAIOS DE ALIMENTAÇÃO FORÇADA – Juarez Benigno Paes, Rafael Rodolfo de Melo, Carlos Roberto de Lima.
- 23. MODELO DE APODRECIMENTO APLICADO A POSTES DE ELETRIFICAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO – Roberto Ramos de Freitas, Carlito Calil Júnior.**
24. INVESTIGAÇÃO TÉCNICA DE ACIDENTE FATAL EM ESTRUTURAS DE MADEIRA DE COBERTURA DE IGREJA – Mauro Augusto Demarzo, Pedro Afonso de O. Almeida.
25. ADSORÇÃO DE ÁGUA E VARIAÇÃO DIMENSIONAL EM TACOS DE JATOBÁ (HYMENAEA SP.) COLADOS SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO – Mariângela G. Luiz, Ivaldo P. Jankowsky.
26. PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA DEVIDO À LIGAÇÕES – UM ESTUDO DE CASO – ARACELLY M. MAGALHÃES, Eduardo Chaud.
27. ANÁLISIS ESTRUCTURAL, DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DEL TECHO DE LA CAPILLA DOMESTICA DE LA RESIDENCIA JESUÍTICA - SIGLO XVII – José Luis Gómez, Maria Edel Ruata, Ivan Edgardo Salgado.
28. DOS COLAPSOS ESTRUCTURALES POR FALLA SECCIONAL DE ELEMENTOS DE MADEIRA LAMINADA - José Luis Gómez, Ivan Edgardo Salgado.
29. ESTRUTURAS DE MADEIRA EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS: MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS – Andressa Cecília Milanese, Rosa Maria Bittencourt.
30. DETECÇÃO DE REGIÕES DETERIORADAS NO INTERIOR DO CAULE DE ÁRVORES VIVAS MEDIANTE O USO DO RESISTOGRAPH® F400-S – José Tarcísio Lima, Paulo Ricardo Gherardi Hein, Renato da Silva Vieira.
31. REFORÇO DE COMPÓSITOS DE SISAL-EPOXÍ PARA ELEMENTOS DE MADEIRA SUBMETIDOS À FLEXÃO – Ricardo F. Carvalho, Carlito Calil Júnior.
32. USO DA PERFURAÇÃO CONTROLADA NA AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO DA MADEIRA EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS - ESTUDO DE CASO – Ângela do Valle, Ricardo D. Brites, Paulo B. Lourenço.

EBRAMEM XI – Tópico exclusivo

33. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PONTES DE MADEIRA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO – Juliano Fiorelli, Antônio Alves Dias.
34. DIAGNÓSTICO DA BIODETERIORAÇÃO E AVALIAÇÃO MECÂNICA DE ESTÁTUA DE MADEIRA – Gonzalo Antonio Carballeira Lopez, Maria Beatriz Bacellar Monteiro, Nilson Franco, Raquel Dias de Aguiar Moraes Amaral.

35. DURABILIDADE DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA DE ORIGEM JAPONESA NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇÚ, PARÁ, BRASIL – Camila Thiemy Dias Numazawa, Ângela do Valle.
36. MELHORIA NA DURABILIDADE DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA COM O USO DE DETALHES CONSTRUTIVOS ADEQUADOS – Frederico Denardi Neto, Elbio Silva Oliveira, Ângela do Valle.
37. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA DO PRÉDIO OCA II, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB) – Ricardo Faustino Teles, Patrícia Gomes Ribeiro, Cláudio Henrique Soares Del Menezzi.

ANEXO B - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DOS POSTES DE MADEIRA (NBR 8456/1984)

Nacionalmente a norma que especifica as características dos postes de eucalipto é a *NBR 8456/1984 - Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação*. Esta norma que está vigente à vinte anos, classifica os postes de eucalipto em quatro classes de acordo com suas características mecânicas e geométricas, sendo designadas pelas letras L, M, P e XP, com os seguintes significados.

- a) L – tipo leve;
- b) M – tipo médio;
- c) P – tipo pesado;
- d) XP – tipo extra pesado.

A descrição destas classes é feita na *NBR 8457/1984 – Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Padronização*, conforme Tabela B.1. As espécies normatizadas para a utilização de poste são citadas a seguir, item (a), com suas respectivas propriedades físico-mecânicas descritas pela Tabela B.2. Porém caso se queira utilizar outras espécies não indicadas deve-se atentar para o item (b).

- a) Espécies: *Alba, Citriodora, Tereticornis, Rostrata, Paniculata e Botryoides*;
- b) Para o estudo de outras espécies, exige-se preliminarmente, características físico-mecânicas e provas de resistência mecânica, de tratamento e de penetração satisfatórias, comprovadas através de experiências no campo.

TABELA B.1 – Dimensões para postes de eucalipto – (NBR 8457/1984)

Item	L (m)	Tipo	Resistência Nominal Rn (daN)	Flecha máx. (mm)	Engastamento (mm)	Dimensões (mm)					
						Diâmetro (mm)			Perímetro (mm)		
						A 200 mm do topo - Dc	Engastamento - De	Topo	A	Base B	
											Min.
1	9	L	150	450	1500	115	145	181	355	459	616
2		M	300			146	178	210	452	562	738
3		P	600			179	219	51	556	961	836
4		XP	1000			220	270	297	685	851	980
5	10	L	150	500	1600	115	145	196	355	459	666
6		M	300			146	178	228	452	562	767
7		P	600			179	219	268	556	961	892
8		XP	1000			220	270	309	685	851	1021
9	10,5	L	150	525	1650	115	145	203	355	459	690
10		M	300			146	178	236	452	562	793
11		P	600			179	219	278	556	961	925
12		XP	1000			220	270	314	685	851	1038
13	11	L	150	550	1700	115	145	211	355	459	716
14		M	300			146	178	245	452	562	823
15		P	600			179	219	288	556	961	958
16		XP	1000			220	270	320	685	851	1059

(*) 1 daN = 1 kgf

TABELA B.2 – Elementos característicos dos eucaliptos – (NBR 8456/1984)

Espécie de Eucalipto	Massa específica aparente (15% de umidade) - (kg/m ³)	Características físicas				Características mecânicas						
		Retratibilidade				Limite de Resistência à flexão (daN/cm ²)		Índice de Ligidez (L/f)	Módulo de elasticidade à flexão (daN/cm ²)		Cisalhamento (daN/cm ²)	Dureza Janka (daN/cm ²)
		Radial (%)	Tangencial (%)	Volumétrica (%)	Coefficiente de Retratibilidade	Madeira verde	Madeira a 15% de umidade		Módulo	Limite de proporcionalidade		
Alba	830	5,8	12,0	20,4	0,6	968	1247	23	131300	386	126	642
Botryoides	890	6,9	13,1	22,0	0,63	1157	1460	26	154500	470	115	749
	1090	6,5	9,6	17,8	0,76	1561	1730	32	181900	841	182	1045
Citriodora	1040	6,6	9,5	19,4	0,77	1140	1238	36	136000	481	166	341
	980	6,9	9,4	18,2	0,78	1500	1673	24	177000	668	149	913
Paniculata	1090	7,3	13,6	23,1	0,79	1451	1772	39	201800	716	169	986
	1060	7,5	14,5	24,5	0,76	1320	1760	24	185000	554	155	890
Rostrata	870	6,8	15,5	25,9	0,48	878	1150	24	101600	389	105	645
Tereticorni ^s	990	7,3	16,7	23,9	0,45	1018	1340	34	120200	509	110	839
	950	6,9	13,4	23,0	0,65	1270	1576	17	133200	490	137	689

(*) 1 daN/cm² = 0,1 MPa

Os parâmetros característicos para o dimensionamento dos postes de eucalipto a serem utilizados são descritos na Tabela B.3.

TABELA B.3 – Parâmetros característicos para dimensionamento - (NBR 8456/1984)

Parâmetro	Valor
Limite de resistência a flexão - σ_f	850 daN/cm ²
Módulo de elasticidade a flexão - E	130.000 daN/cm ²
Massa específica aparente - ρ	900 kg/m ³
Coeficiente de segurança mínimo ¹ - K	3
Conicidade da árvore	5 mm/m < α < 10 mm/m

A forma dos postes de eucalipto tratados devem possuir as características padronizadas exigidas para cada tipo, Tabela 45. Quanto aos defeitos estes são classificados como “inaceitáveis” devendo os postes ser isentos, e “aceitáveis” podendo ocorrer com extensão limitada.

- **Defeitos inaceitáveis:**
 - Defeitos de apodrecimento, principalmente no cerne;
 - Avarias no alburno provenientes do corte ou transporte;
 - Fraturas transversais;
 - Depressões acentuadas;
 - Orifícios, pregos, cavilhas ou quaisquer peças metálicas, não especificamente autorizadas;
- **Curvatura:** a curvatura máxima deve ser igual ou inferior a 1,4 cm para cada metro de distância entre a linha de afloramento e o topo.

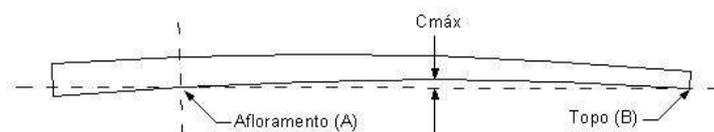


FIGURA B.1 - Curvatura máxima em postes de eucalipto

¹ O coeficiente de segurança mínimo é a relação entre a carga de ruptura e a carga nominal RN do poste.

- **Sinuosidade:** a sinusidade em qualquer trecho devendo atender as condições a seguir, simultaneamente.

$$S > 1,5 \text{ m}$$

$$d < D_s/2$$

Sendo

S – comprimento do trecho onde existe sinusidade;

D_s – diâmetro da seção média das parte sinuosas;

d – desvio entre eixos;

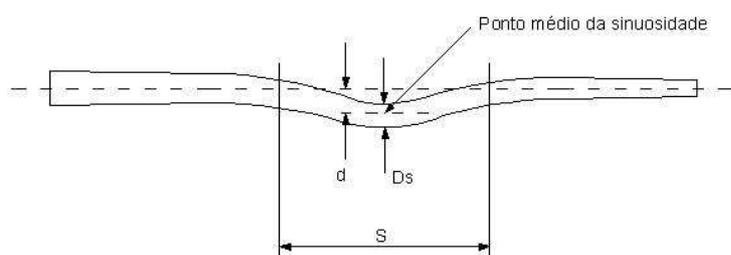


FIGURA B.2 – Sinuosidade admitida em postes de eucalipto

- **Fendas:** no topo, corpo e base:

TABELA B.4 - Comprimentos máximos de fendas – (NBR 8456/1984)

L (m)	Topo		Corpo		Base	
	G_2 (cm)	F_2 (cm)	G (cm)	f (cm)	G_1 (cm)	f_1 (cm)
< 10	30	1,0	100	1,0	30	1,0
> 10	30	1,0	200	0,5	75	1,0

- No corpo do poste as fendas não podem ter profundidade superior a 2 cm;
- No topo do poste não se admite fenda diametral.

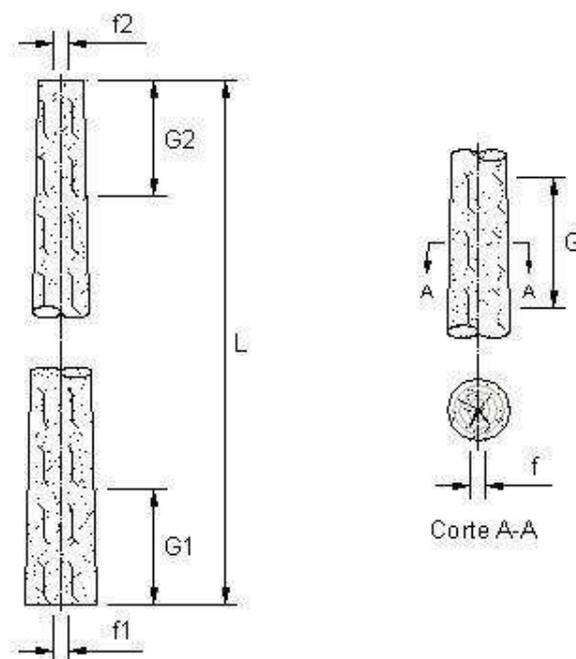


FIGURA B.3 – Fendas

- **Rachas:** no topo e na base com profundidade máxima de 5 cm, e para
 - a) Rachas com ângulo de até 90° : $f = 0,10 \cdot D$
 - b) Rachas com ângulo superior a 90° : $f = 0,05 \cdot D$

Sendo

f : abertura da racha;

d : diâmetro do topo ou base.

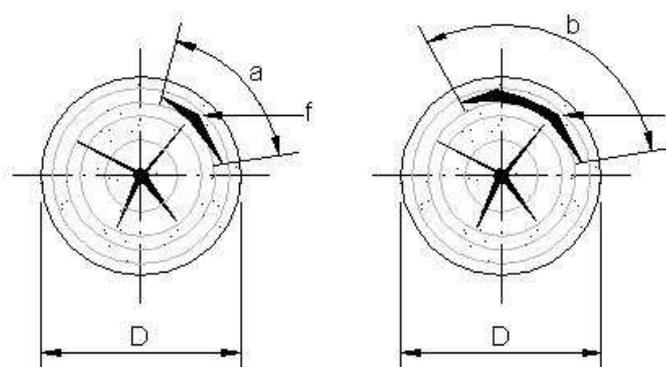


FIGURA B.4 – Rachas

- **Nós ou orifícios de nós:** em qualquer trecho de 30 cm, conforme Tabela 5, devendo ser considerados os itens seguintes,
 - a) Não devem ser considerados nós ou orifícios com diâmetro (D) igual ou inferior a 1,5 cm;
 - b) Protuberância ou nó fechado não constitui defeito, não devendo portanto, ser levado em conta, quando aparecer na superfície do poste.

TABELA B.5 – Dimensões máximas de nós – (NBR 8456/1984)

L (m)	D (cm)	ΣD (cm)
	Máximo de um nó ou cordão	Soma dos diâmetros de um trecho de 30 cm
< 14	8,5	20
> 14	13	25

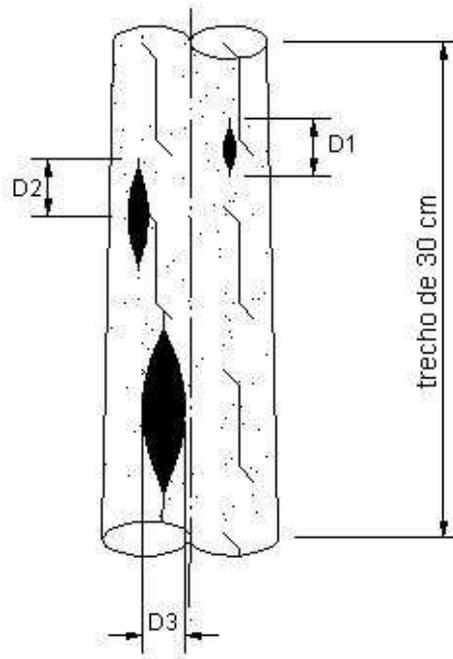


FIGURA B.5 – Nós e orifícios

- Veios inclinados ou espiralados – conforme Tabela abaixo

TABELA B.6 – Veios inclinados – (NBR 8456/1984)

L (m)	< 10	10 e 14	> 14
G (m)	3	4	6

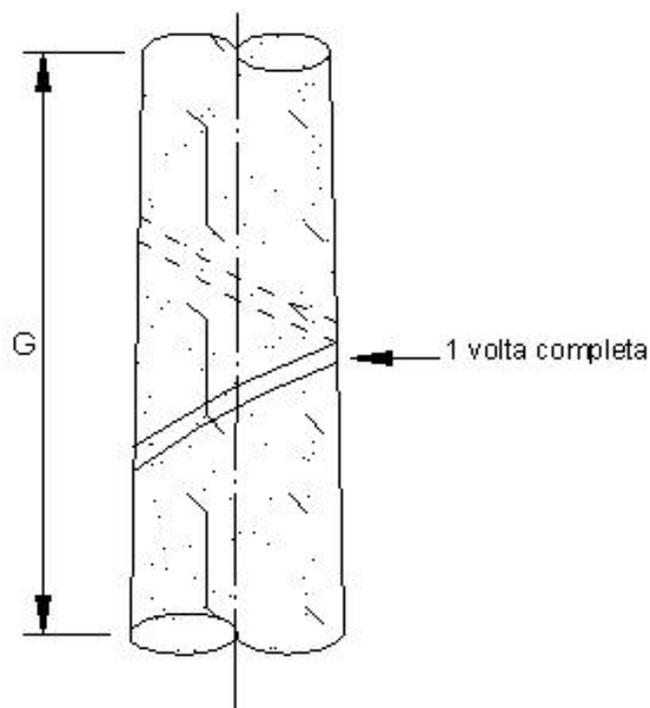


FIGURA B.6 – Veios inclinados

Quanto ao acabamento, ambas as extremidades devem receber uma camada de material betuminoso e ainda:

- a) A extremidade superior dos postes deve ser chafrada em ângulo mínimo de 15°;
- b) À 60 mm do ponto médio do chanfro deve haver uma bandagem de fita de fecho de aço resistente à corrosão, com dimensões mínimas de (tabela), ou três voltas de arame resistente à corrosão nº 12 BHG, fixado com grampo de cerca;

TABELA B.7– Dimensões da cinta para o topo do poste – (NBR 8456/1984)

Tipo de poste	Largura mínima (mm)	Espessura mínima (mm)
L	20	0,8
M	25	0,8
P	25	1,0
XP	30	1,0

ANEXO C – ESPÉCIES NORMALIZADAS PELA AS 2209-1994

A classe de durabilidade é definida pela AS 1720.2-1990, conforme Tabela 3.17.

TABELA C.1 – Espécies normalizadas pela AS 2209-1994 para utilização como postes.

Nome comum	Softwood (S)	Classe de durabilidade
	Hardwood (H)	
ash, alpine	H	4
ash, crow's	H	2
ash, hickory	H	2
ash, mountain	H	4
ash, silvertop	H	3
blackbutt	H	2
blackbutt, New England	H	2
blackbutt, W.A.	H	2
bloodwood, brown	H	2
bloodwood, red	H	1
box, black	H	1
box, brush	H	3
box, coast grey	H	1
box, grey	H	1
box, red	H	2
box, white	H	2
box, white topped	H	2
box, yellow	H	1
brownbarrel	H	4
cadaga	H	3
candlebark	H	3
fir, Douglas (oregon)	S	4
gidgee	H	1
gum, blue, tamanian or southern	H	3
gum, forest red	H	2
gum, grey	H	1
gum, lemon-scented	H	2
gum, maiden's	H	3
gum, manna	H	4
gum, mountain	H	4

CONTINUA

Nome comum	Softwood (S) Hardwood (H)	Classe de durabilidade
CONTINUAÇÃO		
gum, montain grey	H	3
gum, poplar	H	3
gum, river red	H	2
gum, rose	H	3
gum, salmon	H	3
gum, spotted	H	2
gum, Sidney blue	H	3
ironbark, broad-leaved red	H	1
ironbark, grey	H	1
ironbark, narrow-leaved red	H	1
ironbark, red	H	1
ironwood, Cooktown	H	1
jarrah	H	2
karri	H	3
mahogany, red	H	2
mahogany, southern	H	2
mahogany, white	H	1
marri	H	3
messmate	H	3
messmate, Gympie	H	3
penda, brown	H	2
penda, red	H	2
pepermint, black	H	3
peppermint, narrow-leaved	H	3
pine, bunya	H	4
pine, Canary island	S	4
pine, Caribbean	S	4
pine, celery-top	S	3
pine, Corsican	S	4
pine, cypress, black	S	2
pine, cypress, white	S	1
pine, hoop	S	4
pine, kauri	S	4
pine, loblolly	S	4
pine, long-leaf	S	4

Nome comum	Softwood (S) Hardwood (H)	Classe de durabilidade
CONTINUAÇÃO		
pine, maritime	S	4
pine, patula	S	4
pine, radiata	S	4
pine, slash	S	4
pine, ponderosa	S	4*
pine, western white	S	4*
satinay	H	1
atinbox	H	2*
stringybark, blue-leaved	H	3*
stringybark, brown	H	3
stringybark, red	H	3
stringybark, siltertop	H	3
stringybark, white	H	2
stringybark, yellow	H	2
tallowwood	H	1
tingle, red	H	3*
turpentine	H	1
wandoo	H	1
wando, powder bark	H	1*

ANEXO D - ESPECIFICAÇÕES PARA A CLASSE DE RISCO H5 – AS 1604.1-2005 SPECIFICATIONS FOR PRESERVATIVE TREATMENT PART 1: SAWN AND ROUND TIMBER

1. ZONA DE PENETRAÇÃO DE PRESERVATIVO

Toda peça tratada deve mostrar evidência da distribuição de preservativo na zona de penetração de acordo com os seguintes requerimentos:

- a) Se as espécies das peças usadas são de durabilidade natural classe 1 ou 2 em contato com o solo (ver AS 5604), o preservativo deve penetrar em todo o alburno. Penetração do preservativo no cerne não é necessária.
- b) Se as espécies das peças usadas são de durabilidade natural classe 3 ou 4 em contato com o solo (ver AS 5604), o preservativo deve penetrar todo o cerne E, ALÉM DISSO, os seguintes requerimentos devem ser aplicados:
 - (i) Para peças serradas –
 - (A) O preservativo deve penetrar não menos que 20 mm de qualquer superfície; OR
 - (B) Cerne não-penetrado será permitido, contanto que inclua menos que 20% da seção transversal da peça E não estenda mais que metade da distância entre uma superfície até a oposta E não exceda 50% da largura da superfície na qual ocorre;
 - (ii) Para peças roliças diferentes de postes de linhas de transmissão – a penetração não deve ser menos que 20 mm a partir da superfície.
- c) Para peças roliças usadas para postes linhas de transmissão, a penetração requerida será de acordo com a AS 2209.

2. RETENÇÃO REQUERIDA DE PRESERVATIVO

A retenção do preservativo na zona de penetração da peça tratada não será menor que a especificada pela Tabela 53. Para peças roliças usadas para postes de linhas de transmissão, a retenção requerida será de acordo com a AS 2209.

TABELA D.1 – Mínima retenção de preservativo na zona de penetração – Classe de risco H5
(Peça individual; porcentagem em massa / massa baseada em massa seca em estufa do ensaio)

Classificação Botânica	Hidrossolúvel		Oleoso	
	Cobre Cromo Arsênico (Cu+Cr+As)	Cobre amoníaco quaternário ⁽¹⁾ (Cu+DDAC)	Cobre azole ⁽²⁾	Creosoto ⁽³⁾
Softwood	1,00	1,410	0,7590	24,5
Hardwood	1,20	1,690	-	13,0

TABELA D.2 – Composição de ACQ (%)

	Cu	DDAC
Em preservativo formulado ou solução preservativa	56 a 67	33 a 44

TABELA D.3 – Composição do cobre azole (%)

	Cu	Az (tebuconazole)
Em preservativo formulado ou solução preservativa	95,82 a 96,58	3,42 a 4,18

**ANEXO E – PRODUTOS PRESERVATIVOS DE MADEIRA REGISTRADOS NO
IBAMA – 13 de Março de 2007.**

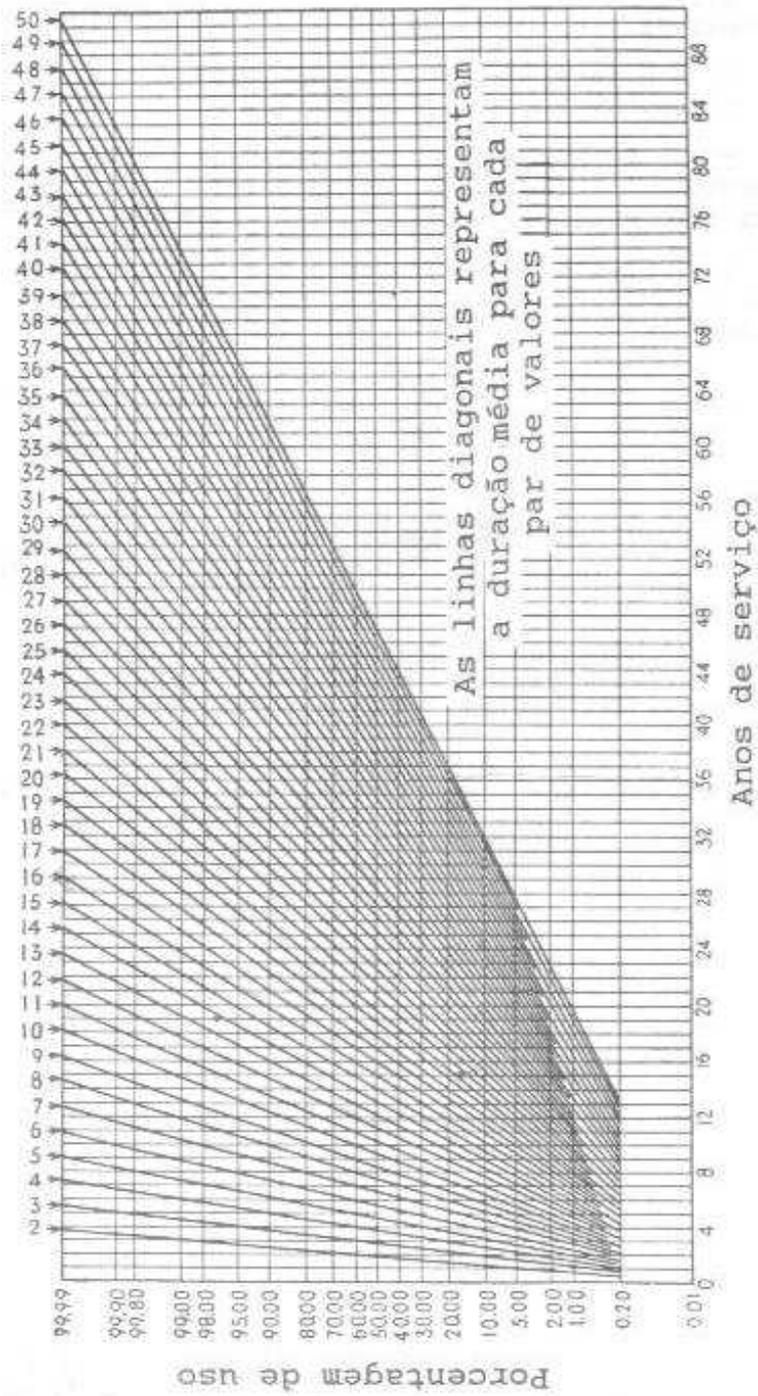
Produto	Ingrediente Ativo	Classe Toxicológica	Classe de Risco Ambiental	Classe	Empresa
Cupinicida Super Pikapau	Diazinon	III	I	Inseticida Cupinicida	PRODUTOS QUÍMICOS SÃO VICENTE
Fungicida Industrial Louro	Pentaclorofenato de Sódio	I	I	Fungicida e Inseticida	LORENZETTI QUÍMICA LTDA
Icosal CB	CCB	I	I	Inseticida Cupinicida	ICOTEMA IND. E COMÉRCIO DE TRATAMENTOS DE MADEIRAS LTDA
Jimo Antimofo PCP	Pentaclorofenato de Sódio	I	I	Fungicida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
Jimo Cupim Incolor	Tribromofenol e Cipermetrina	IV	I	Fungicida e Inseticida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
Jimo Cupim Marrom Escuro	Tribromofenol e Cipermetrina	IV	I	Fungicida e Inseticida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
Jimo Ecomofa	Tanino	I	III	Fungicida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
Jimo TBF Concentrado	Tribromofenol	I	I	Fungicida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
Jimo TBF Export 64	Tribromofenol	I	I	Fungicida	JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA
K-OOTEK CE 25	Deltametrina	III	II	Inseticida	LANXESS IND. DE PRODUTOS QUÍMICOS E PLÁSTICOS LTDA
Madepil AC 40	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	IND. QUÍMICA DIPIL LTDA
Madepil AC 90	Pentaclorofenato de Sódio	I	I	Fungicida	IND. QUÍMICA DIPIL LTDA
Madepil Tri 90 Fungicida Líquido	Tribromofenol	I	I	Fungicida	IND. QUÍMICA DIPIL LTDA
Maderquii	Tribromofenol	I	I	Fungicida	QUIMILAU IND. QUÍMICA LTDA
Mendane 200	Lindane	II	I	Inseticida	PRENTISS QUÍMICA LTDA
Mentox 400	Lindane	I	I	Inseticida	PRENTISS QUÍMICA LTDA
MOQ K 33 C	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
MOQ K 33 C 60	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
MOQ OX 50	CCB	I	I	Fungicida e Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
Nipacide P-028	Tribromofenol	I	I	Fungicida	CLARIANT S.A.
Óleo Creosoto Carboderivados	Óleo creosoto	I	I	Fungicida e Inseticida	ELKEM PARTICIPAÇÕES, IND. E COMÉRCIO LTDA
Osmocolor Stain	IPBC	IV	II	Fungicida	MONTANA QUÍMICA S/A
Osmose CP 50	Cipermetrina	I	I	Cupinicida	MONTANA QUÍMICA S/A
Osmose K 33 C	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
Osmose K 33 C 60	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
Penetrol Cupim	Deltametrina	III	II	Inseticida	OTTO BAUMGART IND. E COMÉRCIO S.A.
Pentox Super	Cipermetrina	IV	II	Inseticida	MONTANA QUÍMICA S/A
Piksulfan 400 Pikapau	Endossulfan	III	I	Inseticida	PRODUTOS QUÍMICOS SÃO VICENTE
Piksulfan Cupinicida Líquido Pikapau	Endossulfan	II	I	Inseticida	PRODUTOS QUÍMICOS SÃO VICENTE
Piksulfan Cupinicida Pó Pikapau	Endossulfan	III	I	Inseticida	PRODUTOS QUÍMICOS SÃO VICENTE
CONTINUA					

Produto	Ingrediente Ativo	Classe Toxicológica	Classe de Risco Ambiental	Classe	Empresa
CONTINUAÇÃO					
PKR 40	Pentaclorofenato de Sódio	I	I	Fungicida	PRENTISS QUÍMICA LTDA
Plydor 200 SC	Fipronil	III	I	Inseticida Cupinicida	BASF S/A
Preventol HS 12 CE 50	Cyfluthrin	III	II	Inseticida Cupinicida	LANXESS IND. DE PRODUTOS QUÍMICOS E PLÁSTICOS LTDA
Prevyne	Deltametrina	I	II	Inseticida	ACTION S.A.
Tanalith 60% CCA - C	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	ARCH QUÍMICA BRASIL LTDA
Tanalith 72% CCA - C	CCA	I	I	Fungicida e Inseticida	ARCH QUÍMICA BRASIL LTDA
TBP 90	Tribromofenol	I	I	Fungicida	PRENTISS QUÍMICA LTDA
Tedox Anti- Cupim Incolor	Clorpirifós	III	II	Inseticida	I. B. SCHILD
Tedox Anti- Cupim Marrom Escuro	Clorpirifós	IV	II	Inseticida	I. B. SCHILD
Troysan Polyphase AF 3	IPBC	I	II	Fungicida	TROY PRODUTOS QUÍMICOS LTDA

Produto	Indicação de uso
Cupinicida Super Pikapau	Inseticida cupinicida para o uso em madeiras secas
Fungicida Industrial Louro	Para ser aplicado em toras e madeiras recém serrada
Icosal CB	Para tratamento de madeiras secas no combate de fungos e insetos que atacam a madeira
Jimo Antimofo PCP	Para o tratamento de madeiras recém-cortadas e recém-serradas no combate a fungos que atacam a madeira causando manchamento e deterioração dos substratos ligno-celulósicos
Jimo Cupim Incolor	Produto para pronto uso com ação fungicida e inseticida, indicado para o tratamento de madeiras secas.
Jimo Cupim Marrom Escuro	Produto para pronto uso com ação fungicida e inseticida, indicado para o tratamento de madeiras secas.
Jimo Ecomofa	Para o tratamento de madeiras recém-cortadas e recém-serradas no combate a fungos que atacam a madeira causando manchamento e deterioração dos substratos ligno-celulósicos
Jimo TBF Concentrado	Para o tratamento de madeiras recém-cortadas e recém-serradas no combate a fungos que atacam a madeira causando manchamento e deterioração dos substratos ligno-celulósicos
Jimo TBF Export 64	Para o tratamento de madeiras recém-cortadas e recém-serradas no combate a fungos que atacam a madeira causando manchamento e deterioração dos substratos ligno-celulósicos
K-OTEK CE 25	Produto com ação inseticida no controle preventivo e curativo de cupins e brocas.
Madepil AC 40	Produto com ação fungicida e inseticida indicado para madeiras secas
Madepil AC 90	Para o tratamento contra fungos
Madepil Tri 90 Fungicida Líquido	Para o tratamento de madeiras recém-serradas no combate a fungos que atacam a madeira
Maderquil	Para o controle a fungos xilófagos que atacam a madeira.
Mendane 200	Para tratamento preventivo contra o ataque de insetos e fungos xilófagos em madeiras compensadas e serradas, utilizadas em construções (forros, assoalhos, rodapés, pé direito) e pela IND. moveleira
Mentox 400	Para tratamento preventivo contra o ataque de insetos e fungos xilófagos (cupins) em madeiras compensadas ou beneficiadas (IND. moveleira).
MOQ K 33 C	Contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento de madeira beneficiada
MOQ K 33 C 60	No combate a insetos e fungos xilófagos que atacam a madeira.
MOQ OX 50	Para a preservação de madeiras contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento de madeira beneficiada
Nipacide P-028	Produto indicado para o controle fungos causadores de manchas em madeira serrada ou em troncos
Óleo Creosoto Carboderivados	Contra fungos e insetos que atacam a madeira em dormentes, postes, cruzetas, mourões para cercas rurais, esteios e vigas.
Osmocolor Stain	Controle preventivo de fungos em estrutura de madeiras que ficarão fora de contato com o solo e alimentos
Osmose CP 50	Para o controle de cupins em madeira compensada
Osmose K 33 C	Para a preservação de madeiras contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento de madeira beneficiada
Osmose K 33 C 60	Para a preservação de madeiras contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento de madeira beneficiada
Penetrol Cupim	Em madeira seca na IND. de madeira beneficiada (moveleira)
Pentox Super	Para a preservação de madeiras secas no controle preventivo e curativo de insetos
Piksulfan 400 Pikapau	Para tratamento preventivo contra o ataque de cupins em superfícies de madeira beneficiada
Piksulfan Cupinicida Líquido Pikapau	Para o controle de cupins que atacam a madeira bruta e beneficiada
Piksulfan Cupinicida Pó Pikapau	Para o combate de cupins que atacam a madeira beneficiada (IND. moveleira).
PKR 40	Para o tratamento preventivo contra fungos que atacam a madeira causando manchamento e deterioração dos substratos ligno-celulósicos.
Plydor 200 SC	Para o controle de cupins em madeira para fabricação de compensados, laminados e aglomerados
Preventol HS 12 CE 50	Em madeiras para construção civil ou fabricação de móveis
Prevyné	Produto indicado para o controle preventivo ou curativo de cupins e brocas
Tanalith 60% CCA - C	Na preservação de madeiras contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento em madeira beneficiada
Tanalith 72% CCA - C	Para a preservação de madeiras contra cupins e fungos causadores de manchas, bolores e apodrecimento de madeira beneficiada
TBP 90	Para o tratamento preventivo contra ataque de fungos em madeiras serradas e madeiras para estruturas.
Tedox Anti-Cupim Incolor	No tratamento preventivo contra o ataque de cupins em madeira seca beneficiada
Tedox Anti-Cupim Marrom Escuro	No tratamento preventivo contra o ataque de cupins em madeira seca beneficiada
Troysan Polyphase AF 3	No combate de fungos em madeiras recém cortadas e recém serradas e em estruturas de madeira que ficarão fora do contato com alimento

Produto	Forma de aplicação autorizada
Cupinicida Super Pikapau	Imersão
Fungicida Industrial Louro	Pincelamento e imersão, uso exclusivamente industrial
Icosal CB	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Jimo Antimofo PCP	Imersão
Jimo Cupim Incolor	Imersão, pincelamento e aspersão
Jimo Cupim Marrom Escuro	Imersão, pincelamento e pulverização
Jimo Ecomofó	Imersão
Jimo TBF Concentrado	Imersão
Jimo TBF Export 64	Imersão
K-OTÉK CE 25	Pelo método de injeção, aspersão, pincelamento e imersão
Madepil AC 40	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Madepil AC 90	Madeiras recém-abatidas através de pulverização ou pincelamento e em madeiras serradas através do método de imersão, uso exclusivamente industrial
Madepil Tri 90 Fungicida Líquido	Imersão
Maderquill	Imersão
Mendane 200	Imersão e adição à cola
Mentox 400	Adição à cola
MOQ K 33 C	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
MOQ K 33 C 60	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
MOQ OX 50	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Nipacide P-028	Imersão, uso exclusivamente industrial
Óleo Creosoto Carboderivados	Pelo método de autoclavagem, por usinas sob pressão registradas no IBAMA
Osmocolor Stain	Pincelamento
Osmose CP 50	Adição à cola
Osmose K 33 C	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Osmose K 33 C 60	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Penetrol Cupim	Pincelamento
Pentox Super	Pincelamento, imersão e injeção, uso exclusivamente industrial
Piksulfan 400 Pikapau	Pincelamento
Piksulfan Cupinicida Líquido Pikapau	Imersão e pincelamento
Piksulfan Cupinicida Pó Pikapau	Adição à cola
PKR 40	Imersão, pincelamento e pulverização
Plydor 200 SC	Pelo método de adição à cola, uso exclusivamente industrial
Preventol HS 12 CE 50	Pelo método de adição à cola, uso exclusivamente industrial
Prevyne	Imersão e adição à cola
Tanalith 60% CCA - C	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
Tanalith 72% CCA - C	Pelo método de autoclavagem, uso exclusivamente industrial
TBP 90	Imersão e aspersão
Tedox Anti-Cupim Incolor	Pincelamento
Tedox Anti-Cupim Marrom Escuro	Pincelamento
Troysan Polyphase AF 3	Pincelamento, pulverização e imersão, para uso exclusivamente industrial

ANEXO F – ÁBACO DE McLEAN



ANEXO G - DADOS CLIMÁTICOS – INSTITUTO AGRÔNOMICO DE CAMPINAS/SP

	Cidade	Data de início	Data de Término	Duração (anos)	Leituras	T _{média} (°C)	Prec _{-média} (mm)	N _{dm} – meses secos
1	Adamantina	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	24,2	1262	0,92
2	Alfenas - MG	1/7/1996	27/2/1999	2,7	971	22,6	958	2,00
3	Andradina	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	24,6	1288	1,20
4	Araçatuba	1/4/1996	6/7/2005	9,3	3383	24,6	1424	1,11
5	Assis	1/7/1992	6/7/2005	13,0	4753	22,0	1452	0,58
6	Atibaia	30/11/2000	6/7/2005	4,6	1679	20,7	1295	0,50
7	Auriflama	9/5/1996	6/7/2005	9,2	3345	24,5	1278	1,33
8	Bandeirantes - PR	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	22,8	1399	0,25
9	Barretos	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	24,7	1510	1,75
10	Batatais	20/2/2002	6/7/2005	3,4	1232	23,2	1434	2,00
11	Bauru	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	23,8	1373	1,00
12	Bebedouro	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	23,8	1395	1,36
13	B. Vista do Paraíso - PR	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	22,3	1380	0,50
14	Botucatu	1/2/1994	6/7/2005	11,4	4173	21,5	1431	0,91
15	Bragança Paulista	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	20,6	1339	0,60
16	Buritama	13/12/1993	6/7/2005	11,6	4223	24,2	1174	1,00
17	Cambará - PR	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	22,6	1346	0,50
18	Campinas	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	22,2	1456	0,92
19	Campo Grande - MS	1/7/1996	17/6/2001	5,0	1812	24,4	1362	1,00
20	Campos do Jordão	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	15,1	1726	0,80
21	Cananeia	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	22,4	2079	0,00
22	Candido Mota	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	21,6	1437	0,83
23	Capão Bonito	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	20,1	1364	0,55
24	Capivari	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	21,9	1167	1,00
25	Casa Branca	7/8/1995	6/7/2005	9,9	3621	22,1	1580	1,78
26	Catanduva	4/7/1996	6/7/2005	9,0	3289	24,1	1210	1,88
27	Echaporã	1/5/1999	6/7/2005	6,2	2258	22,8	1165	0,60
28	Eldorado	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	23,1	1409	0,80
29	Esp. Santo do Pinhal	2/7/2001	6/7/2005	4,0	1465	21,6	1510	1,33
30	Franca	27/8/1992	6/7/2005	12,9	4696	22,1	1528	1,83
31	Gália	1/3/2001	6/7/2005	4,3	1588	21,7	1302	1,00
32	Guaira	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	23,9	1644	1,60
33	Ibiporã	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	22,9	1375	0,67
34	Ibirarema	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	22,4	1358	0,67
35	Ibiuna	8/7/1996	6/7/2005	9,0	3285	19,3	1254	0,50
36	Iepê	27/3/2000	6/7/2005	5,3	1927	22,0	1299	0,40

CONTINUA

	Cidade	Data de início	Data de Término	Duração (anos)	Leituras	T _{média} (°C)	Prec.-média (mm)	N _{dm} – meses secos
CONTINUAÇÃO								
37	Ilha Solteira	1/1/1993	6/7/2005	12,5	4569	25,0	1204	1,25
38	Ipaussu	1/2/1999	6/7/2005	6,4	2347	21,8	1485	0,67
39	Iracemópolis	23/3/2000	28/9/2003	3,5	1284	21,7	1281	1,00
40	Itapetininga	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	21,1	1338	0,50
41	Itapeva	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	21,3	1605	0,30
42	Itararé	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	17,3	1700	0,25
43	Itararé – Del. Agrícola	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	21,9	1644	0,25
44	Itatiba	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	20,6	1488	0,60
45	Jaboticabal	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	23,3	1395	1,33
46	Jacupiranga	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	22,6	1866	0,20
47	Jales	1/9/1993	6/7/2005	11,8	4326	24,4	1324	1,55
48	Jaú	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	22,6	1486	1,00
49	José Bonifácio	13/12/1993	6/7/2005	11,6	4223	24,4	1326	1,45
50	Jundiáí	1/1/1994	6/7/2005	11,5	4204	21,3	1457	0,82
51	Limeira	1/1/1995	6/7/2005	10,5	3839	21,7	1423	1,20
52	Lins	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	24,4	1387	1,20
53	Londrina - PR	1/8/1996	6/7/2005	8,9	3261	22,0	1527	0,38
54	Manduri	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	21,4	1528	0,50
55	Maraci	3/12/1998	6/7/2005	6,6	2407	23,1	1440	0,50
56	Marília	1/1/1993	6/7/2005	12,5	4569	23,3	1515	0,67
57	Matão	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	23,5	1329	1,00
58	Miracatu	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	23,1	1414	0,00
59	Mirandópolis	1/4/1996	6/7/2005	9,3	3383	25,3	1268	0,78
60	Mir. do Paranapanema	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	23,5	1368	0,80
61	Mococa	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	22,9	1544	1,25
62	Monte Alegre	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	20,8	1589	0,83
63	Monte Aprazível	10/5/2002	6/7/2005	3,2	1153	24,0	1238	2,50
64	Nova Odessa	23/3/2002	6/7/2005	3,3	1201	22,5	1181	1,20
65	Oswaldo Cruz	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	25,7	1359	0,80
66	Ourinhos	29/5/2000	6/7/2005	5,1	1864	23,2	1437	0,50
67	Palmital	1/4/1993	6/7/2005	12,3	4479	22,8	1472	0,33
68	Paraguaçu Paulista	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	23,2	1350	0,83
69	Pariquera-Açu	1/10/1992	6/7/2005	12,8	4661	22,2	1739	0,00
70	Paulínia	6/11/1994	6/7/2005	10,7	3895	22,6	1478	0,73
71	Pedrinhas Paulista	1/1/1993	6/7/2005	12,5	4569	23,4	1688	0,50
72	Penápolis	1/4/1996	6/7/2005	9,3	3383	24,5	1421	1,11
73	Piacatu	1/4/1996	6/7/2005	9,3	3383	24,2	1298	1,11
74	Piedade	1/7/1996	6/7/2005	9,0	3292	19,6	1448	0,50
75	Pindamonhangaba	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	22,4	1305	0,50
76	Pindorama	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	23,1	1383	1,33
77	Piracaia	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	20,8	1526	0,60

	Cidade	Data de início	Data de Término	Duração (anos)	Leituras	T _{média} (°C)	Prec. _{média} (mm)	N _{dm} – meses secos
CONTINUAÇÃO								
78	Piracicaba	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	22,1	1413	0,92
79	Presidente Prudente	1/12/1992	6/7/2005	12,6	4600	23,6	1431	0,75
80	Quatá	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	23,9	1413	0,83
81	Rancharia	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	24,0	1382	0,60
82	Registro	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	22,6	1709	0,00
83	Ribeirão Preto	28/8/1992	6/7/2005	12,9	4695	22,9	1510	1,67
84	Sta. Barbara do Oeste	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	22,0	1255	1,00
85	Sta. Cruz do Rio Pardo	30/11/1998	6/7/2005	6,6	2410	22,0	1362	0,50
86	Santa Fé do Sul	19/4/2002	6/7/2005	3,2	1174	25,0	1175	0,50
87	Sta. Maria da Serra	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	21,7	1354	0,60
88	Santos	1/7/1996	6/7/2005	9,0	3292	22,9	2087	0,00
89	São Carlos	1/12/1992	6/7/2005	12,6	4600	21,6	1443	1,17
90	S. José das Laranjeiras	27/3/2000	6/7/2005	5,3	1927	23,3	1543	0,40
91	S. José do Rio Pardo	1/1/1993	6/7/2005	12,5	4569	23,4	1650	0,67
92	S. José do Rio Preto	13/12/1993	6/7/2005	11,6	4223	25,0	1417	1,55
93	São Paulo	4/7/1996	6/7/2005	9,0	3289	21,2	1544	0,38
94	São Pedro	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	20,3	1546	0,80
95	S. Pedro do Turvo	1/12/1998	6/7/2005	6,6	2409	22,7	1409	0,67
96	São Roque	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	20,0	1230	1,00
97	São Simão	4/7/1996	6/7/2005	9,0	3289	23,3	1463	1,75
98	Sete Barras	23/2/2000	6/7/2005	5,4	1960	23,1	1624	0,00
99	Sorocaba	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	22,2	1212	0,80
100	Sumaré	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	22,2	1217	1,40
101	Taquaritinga	1/11/1994	6/7/2005	10,7	3900	21,5	1831	0,50
102	Tarumã	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	22,9	1427	0,67
103	Tatuí	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	21,7	1271	0,83
104	Taubaté	4/7/1996	6/7/2005	9,0	3289	21,9	1285	0,38
105	Tietê	1/9/1992	6/7/2005	12,8	4691	22,1	1216	0,92
106	Tupã	1/1/1993	6/7/2005	12,5	4569	24,4	1299	1,00
107	Tupi Paulista	9/12/1993	6/7/2005	11,6	4227	24,6	1345	1,27
108	Ubatuba	1/10/1992	6/7/2005	12,8	4661	22,9	2514	0,00
109	Valinhos	23/3/2000	6/7/2005	5,3	1931	22,2	1496	0,80
110	Valpariso	1/4/1996	6/7/2005	9,3	3383	24,3	1331	1,22
111	Vargem	1/7/1996	6/7/2005	9,0	3292	20,1	1341	0,75
112	Vargem Gde. do Sul	1/9/1999	6/7/2005	5,8	2135	22,5	1443	1,60
113	Votuporanga	24/8/1992	6/7/2005	12,9	4699	24,3	1331	1,10

ANEXO H – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS CIDADES

CIDADE	Latitude			Longitude			Altitude (m)
	g	m	s	g	m	s	
Adamantina	-21	41	07	-51	04	21	401
Alfenas - MG	-21	25	45	-45	56	50	-
Andradina	-20	53	46	-51	22	46	405
Araçatuba	-21	12	32	-50	25	58	390
Assis	-22	39	42	-50	24	44	546
Atibaia	-23	07	01	-46	33	01	803
Auriflama	-20	41	08	-50	33	17	482
Bandeirantes - PR	-23	06	36	-50	22	03	-
Barretos	-20	33	26	-48	34	04	530
Batatais	-20	53	28	-47	35	06	862
Bauru	-22	18	53	-49	03	38	526
Bebedouro	-20	56	58	-48	28	45	573
Bela Vista do Paraíso - PR	-22	49	58	-51	11	26	-
Botucatu	-22	53	09	-48	26	42	804
Bragança Paulista	-22	57	07	-46	32	31	817
Buritama	-21	03	58	-50	08	50	391
Cambará - PR	-23	02	47	-50	04	25	-
Campinas	-22	54	20	-47	03	39	854
Campo Grande - MS	-20	26	34	-54	48	37	-
Campos do Jordão	-22	44	22	-45	35	29	1628
Cananeia	-25	00	53	-47	55	36	8
Candido Mota	-22	44	47	-50	23	13	479
Capão Bonito	-24	00	21	-48	20	58	705
Capivari	-22	59	42	-47	30	28	636
Casa Branca	-21	46	26	-47	05	11	684
Catanduva	-21	08	16	-48	58	22	503
Echaporã	-22	25	46	-50	12	02	700
Eldorado	-24	31	12	-48	06	29	62
Espirito Santo do Pinhal	-22	06	57	-46	40	58	870
Franca	-20	32	19	-47	24	03	996
Gália	-22	17	29	-49	33	10	561
Guaira	-20	19	06	-48	18	38	517
Ibiporanga	-20	28	37	-49	34	25	514
Ibirarema	-22	49	03	-50	04	21	483
Ibiuna	-23	39	23	-47	13	21	860
Iepê	-22	39	38	-51	04	34	400
Ilha Solteira	-20	25	58	-51	20	33	-
Ipaussu	-23	03	24	-49	37	35	568

CONTINUA

CIDADE	Latitude			Longitude			Altitude (m)
	g	m	s	g	m	s	
CONTINUAÇÃO							
Iracemópolis	-22	34	50	-47	31	07	608
Itapetininga	-23	35	30	-48	03	11	656
Itapeva	-23	58	56	-48	52	32	684
Itararé	-24	06	45	-49	19	54	740
Itatiba	-23	00	21	-46	50	20	750
Jaboticabal	-21	15	17	-48	19	20	605
Jacupiranga	-24	41	33	-48	00	08	33
Jales	-20	16	08	-50	32	45	478
Jaú	-22	17	47	-48	33	28	522
José Bonifácio	-21	03	10	-49	41	18	458
Jundiaí	-23	11	11	-46	53	03	761
Limeira	-22	33	53	-47	24	06	588
Lins	-21	40	43	-49	44	33	437
Londrina - PR	-23	18	37	-51	09	46	-
Manduri	-23	00	12	-49	19	19	710
Maracaí	-22	36	38	-50	40	02	435
Marília	-22	12	50	-49	56	45	675
Matão	-21	36	12	-48	21	57	585
Miracatu	-24	16	53	-47	27	35	27
Mirandópolis	-21	08	01	-51	06	06	429
Mirante do Paranapanema	-22	17	31	-51	54	23	448
Mococa	-21	28	04	-47	00	17	645
Monte Alegre do sul	-22	40	55	-46	40	51	750
Monte Aprazível	-20	46	21	-49	42	51	475
Nova Odessa	-22	46	39	-47	17	45	570
Oswaldo Cruz	-21	47	48	-50	52	43	485
Ourinhos	-22	58	44	-49	52	14	483
Palmital	-22	47	20	-50	13	03	508
Paraguaçu Paulista	-22	24	46	-50	34	33	506
Pariquera-Açu	-24	42	54	-47	52	52	39
Paulínia	-22	45	40	-47	09	15	590
Pedrinhas Paulista	-22	48	54	-50	47	38	330
Penápolis	-21	25	11	-50	04	39	416
Piçatu	-21	35	32	-50	35	57	422
Piedade	-23	42	43	-47	25	40	781
Pindamonhangaba	-22	55	26	-45	27	42	557
Pindorama	-21	11	09	-48	54	26	527
Piracaia	-23	03	14	-46	21	29	792
Piracicaba	-22	43	31	-47	38	57	547
Presidente Prudente	-22	07	32	-51	23	20	475
Quatá	-22	14	51	-50	41	54	550
Rancharia	-22	13	45	-50	53	35	519

CIDADE	Latitude			Longitude			Altitude (m)
	g	m	s	g	m	s	
CONTINUAÇÃO							
Registro	-24	29	15	-47	50	37	25
Ribeirão Preto	-21	10	39	-47	48	37	546
Santa Barbara do Oeste	-22	45	13	-47	24	49	565
Santa Cruz do Rio Pardo	-22	53	56	-49	37	57	467
Santa Fé do Sul	-20	12	40	-50	55	33	370
Santa Maria da Serra	-22	34	02	-48	09	38	495
Santos	-23	57	39	-46	20	01	2
São Carlos	-22	01	03	-47	53	27	854
São José das Laranjeiras	-22	40	20	-50	51	48	368
São José do Rio Pardo	-21	35	44	-46	53	19	705
São José do Rio Preto	-20	49	11	-49	22	46	489
São Paulo	-23	32	51	-46	38	10	760
São Pedro	-22	32	55	-47	54	50	550
São Pedro do Turvo	-22	44	49	-49	44	23	457
São Roque	-23	31	45	-47	08	07	771
São Simão	-21	28	45	-47	33	03	665
Sete Barras	-24	23	16	-47	55	32	30
Sorocaba	-23	30	06	-47	27	29	601
Sumaré	-22	49	19	-47	16	01	583
Taquaritinga	-21	24	22	-48	30	17	565
Tarumã	-22	44	48	-50	34	38	441
Tatuí	-23	21	20	-47	51	25	645
Taubaté	-23	01	35	-45	33	19	580
Tietê	-23	06	07	-47	42	53	508
Tupã	-21	56	05	-50	30	49	524
Tupi Paulista	-21	22	52	-51	34	14	400
Ubatuba	-23	26	02	-45	04	16	3
Valinhos	-22	58	14	-46	59	45	660
Valpariso	-21	13	40	-50	52	06	449
Vargem	-22	53	20	-46	24	49	845
Vargem Grande do Sul	-21	49	56	-46	53	37	721
Votuporanga	-20	25	22	-49	58	22	525

Fonte: www.astrologie.com.br

ANEXO I – TESTES ESTATÍSTICOS

1. Teste de Normalidade de KOLGOMOROV-SMIRNOV

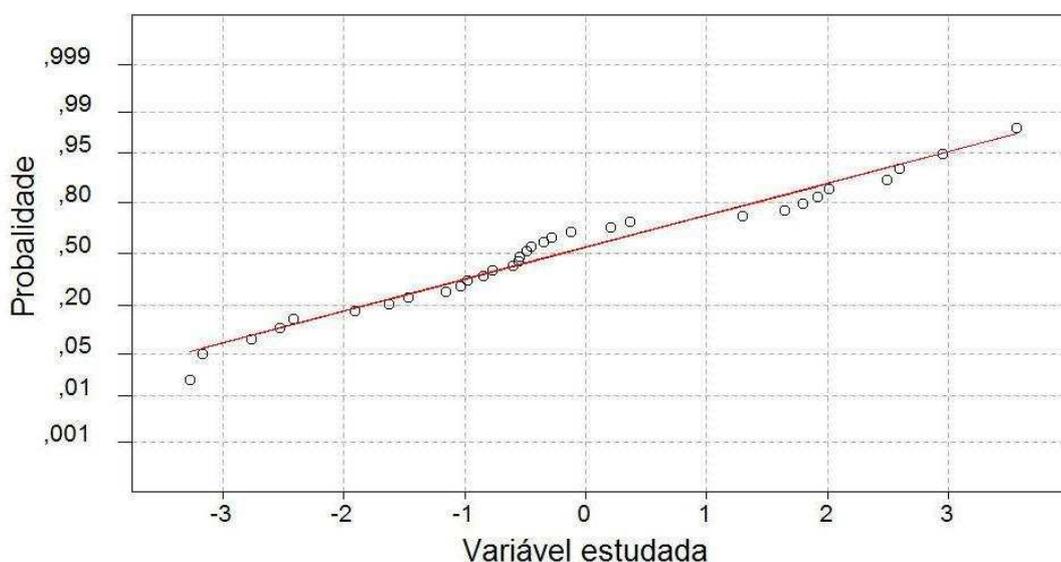
O método de Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade, analisa o máximo distanciamento observado da curva normal acumulada, dos pontos individuais da amostra. Desta forma a variável de teste é a maior diferença observada entre a função de distribuição acumulada e a da amostra.

$$d = \max \{F(x) - G(x)\} \quad (1)$$

d: máximo distanciamento dos valores observado da curva normal acumulada (em módulo);

F(x): probabilidade reduzida de x_i , $F(x)=P(X \geq x)$;

G(x):função de distribuição acumulada da curva normal reduzida acumulada;



Assim tem-se:

- H_0 : os dados observados provem de uma distribuição normal;
- H_1 : os dados observados não provem de uma distribuição normal;

Para

$$d < d_{crit}$$

Não rejeitar H_0

$$d > d_{crit}$$

Rejeitar H_0

Os valores de d_{crit} para $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,01$, são mostrados na Tabela F.1. Para $n > 50$, os valores de d_{crit} podem ser obtidos através das Equações 2 e 3.

TABELA I.1 - Valores críticos para o teste de Kolgomorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,975	0,995	14	0,349	0,418
2	0,842	0,929	15	0,338	0,404
3	0,708	0,829	16	0,327	0,392
4	0,624	0,734	17	0,318	0,381
5	0,563	0,669	18	0,309	0,371
6	0,519	0,617	19	0,301	0,361
7	0,483	0,576	20	0,294	0,352
8	0,454	0,542	25	0,264	0,317
9	0,430	0,513	30	0,242	0,290
10	0,409	0,490	35	0,224	0,269
11	0,391	0,468	40	0,210	0,252
12	0,375	0,449	45	0,198	0,238
13	0,361	0,432	50	0,188	0,227

$$n > 50 ; \alpha = 0,05 \quad d_{crit} = \frac{1,36}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$n > 50 ; \alpha = 0,01 \quad d_{crit} = \frac{1,63}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

2. Teste-F – Igualdade das variâncias

O teste-F é baseado na distribuição F de *Snedecor*, a qual utiliza as variâncias (s_1 e s_2) das populações consideradas, tendo-se:

$$H_0: s_1^2 = s_2^2$$

$$H_1: s_1^2 > s_2^2$$

A variável teste é o quociente das variâncias s_1 e s_2 ao quadrado, conforme Eq. 4.

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F_{n_1-1, n_2-1} \quad (4)$$

O valor F_{n_1-1, n_2-1} deve ser comparado com $F_{n_1-1, n_2-1, \alpha}$:

$$\begin{aligned} F_{n_1-1, n_2-1} > F_{n_1-1, n_2-1, \alpha} & \quad \text{Rejeitar } H_0 \\ F_{n_1-1, n_2-1} < F_{n_1-1, n_2-1, \alpha} & \quad \text{Não rejeitar } H_0 \end{aligned}$$

Para a simplificação da análise, é adotada a seguinte notação:

- F_{n_1-1, n_2-1} : F_{obtido}
- $F_{n_1-1, n_2-1, \alpha}$: $F_{critico}$

3. Teste de Independência pelo χ^2 (Qui-quadrado)

Desejando-se testar se variáveis qualitativas são ou não independentes faz-se:

- H_0 : as variáveis são independentes;
- H_1 : as variáveis não são independentes, ou seja, elas apresentam algum grau de associação entre si;

Para a realização do teste faz-se:

$$\chi_v^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{O_{ij}^2}{E_{ij}} - n \quad (5)$$

Sendo:

χ_v^2 = a estatística de teste, com v graus de liberdade;

r = o número de linhas do corpo da tabela de contingência;

s = o número de colunas do corpo da tabela de contingência;

O_{ij} a frequência observada na intersecção da linha i com a coluna j ;

E_{ij} a frequência esperada na intersecção da linha i com a coluna j ;

n = numero total de elementos da amostra;

Tabela de Frequência Obtidas

	R1	R2	...	R _i
T1	O_{11}	O_{12}	...	O_{1i}
T2	O_{21}	O_{22}	...	O_{2i}
...
T _i	O_{i1}	O_{i2}	...	O_{ij}

R: resposta; T: tratamentos

Tabela de Frequência Esperadas

	R1	R2	...	R _i
T1	E ₁₁	E ₁₂	...	E _{1i}
T2	E ₂₁	E ₂₂	...	E _{2j}
...
T _i	E _{i1}	E _{i2}	...	E _{ij}

R: resposta; T: tratamento

As frequências esperadas de cada cela da tabela são calculadas por:

$$E_{ij} = n \cdot p_{ij} \quad (6)$$

Onde p_{ij} é a probabilidade de ocorrer uma observação na cela considerada. Havendo independência entre as variáveis (conforme H₀), tem-se:

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j \quad (7)$$

Onde p_i é a probabilidade marginal correspondente à linha i e p_j a probabilidade marginal correspondente à coluna j .

Como não se conhece as probabilidades marginais, estas devem ser estimadas através das correspondentes frequências relativas p'_i e p'_j , dadas por:

$$p'_i = \frac{f_i}{n} \quad (8)$$

$$p'_j = \frac{f_j}{n} \quad (9)$$

$$\therefore E_{ij} = n \cdot p_i \cdot p_j \cong n \cdot p'_i \cdot p'_j = n \cdot \frac{f_i}{n} \cdot \frac{f_j}{n} = \frac{f_i \cdot f_j}{n} \quad (10)$$

Tendo como restrição $E_{ij} \geq 5$

O número de graus de liberdade v é dado por

$$v = (r - 1) \cdot (s - 2) \quad (11)$$

Sendo

$$\chi^2_{crítico} = \chi^2_{v,\alpha} \quad (12)$$

Assim

$$Se \chi^2_{obtido} > \chi^2_{crítico}$$

Rejeita-se H_0

$$Se \chi^2_{obtido} < \chi^2_{crítico}$$

Não rejeitar H_0

- Rejeitar H_0 significa que existem evidências estatísticas que os tratamentos produzem respostas diferentes.
- Não rejeitar H_0 significa que não existem evidências estatísticas que os tratamentos produzem respostas diferentes.

Tabela I.2 – Valores de $\chi^2_{\nu,\alpha}$

ν	Probabilidade α			
	0,1	0,05	0,025	0,01
1	2,706	3,841	5,024	6,635
2	4,605	5,991	7,378	9,210
3	6,251	7,815	9,348	11,345
4	7,779	9,488	11,143	13,277
5	9,236	11,070	12,833	15,086
6	10,645	12,592	14,449	16,812
7	12,017	14,067	16,013	18,475
8	13,362	15,507	17,535	20,090
9	14,684	16,919	19,023	21,666
10	15,987	18,307	20,483	23,209

REFERÊNCIA

COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)