

Gisleine Aparecida da Silva

A lixiviação de cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR 10005:2004

**INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO
PAULO**

GISLEINE APARECIDA DA SILVA

**A lixiviação de cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada
com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR
10005:2004**

São Paulo

2008

Gisleine Aparecida da Silva

A lixiviação de cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR 10005:2004

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Data da aprovação ____/____/____

Prof. Dr. Marcio Augusto Rabelo Nahuz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcio Augusto Rabelo Nahuz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Ivaldo Pontes Jankowsky (Membro)
ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Prof^a. Dra. Clarita Schvartz Peres (Membro)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Gisleine Aparecida da Silva

A lixiviação de cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR 10005:2004

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Área de concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Marcio Augusto Rabelo Nahuz

São Paulo

Maior 2008

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

S586L Silva, Gisleine Aparecida da
A lixiviação de cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR 10005:2004. / Gisleine Aparecida da Silva. São Paulo, 2008.
90p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Augusto Rabelo Nahuz

1. Preservação da madeira 2. Resíduo sólido 3. Lixiviação 4. Preservativo hidrossolúvel 5. CCA-C (arseniato de cobre cormatado) 6. CCB (mistura de sais de cobre, cromo e boro) 7. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Ensino Tecnológico II. Título

08-193

CDU 674.004.4(043)

Marco, Álvaro, Vitor e Henrique, este trabalho também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Marcio Nahuz, pelo auxílio, incentivo e sobretudo pela paciência;

Ao Sérgio Brazolin, pela oportunidade, incentivo e contribuições;

Ao Prof. Ângelo José Consoni pela participação e contribuição na Banca de Qualificação;

À Edna Gubitoso, pela boa vontade e colaboração sempre que solicitada;

Aos colegas do IPT, que de alguma forma colaboraram para a execução deste trabalho:
Luiz, Serginho, Paulinho, Takashi, Marcio, Mariana, Valéria, Linéia e Arlete;

Ao Valdecir e Fabiano, do Laboratório de Matérias de Construção Civil, pelo empréstimo do equipamento necessário para a realização dos ensaios;

Ao Prof. Rubens Dias Humphreys, pela dedicação e auxílio na parte estatística;

Aos amigos Marcelo e Elizabeth, pela demonstração de amizade e solidariedade;

À Helene, da ABPM pelo auxílio em disponibilizar material para consulta;

Às empresas que forneceram o material utilizado nos ensaios: Icotema Madeiras Tratadas e Concreto Ltda, Montana Química S.A, Serrarias Mohr Ltda;

Ao Marco Antonio, companheiro de todas as horas, que sempre acreditou que tudo daria certo;

Aos meus filhos Alvaro, Vitor e Henrique, que souberam entender meus momentos de ausência;

À minha querida mãe, que sempre me apoiou em tudo, e é um exemplo de luta e vida e meu irmão, sempre disposto em ajudar.

À todos, muito obrigada!

RESUMO

A madeira, por ser um material orgânico, está sujeita à ação de organismos biodeterioradores, quando sujeitas às condições agressivas de exposição.

O sucesso de seu uso requer a execução de tratamentos químicos com produtos preservativos que incrementem sua durabilidade, e, por consequência, sua vida útil.

Atualmente, os produtos preservativos hidrossolúveis utilizados nas usinas de tratamento são o CCA-C (arseniato de cobre cromatado), à base de cobre, cromo e arsênio, e CCB (mistura de sais de cobre, cromo e boro), que pode ser tanto de base salina quanto de base óxida.

Diante da crescente utilização de madeira tratada, a questão dos resíduos tem gerado grande preocupação, principalmente entre as empresas usuárias de grandes volumes deste material (concessionárias de energia elétrica, telefonia, ferrovias, etc.).

No presente trabalho pretende-se definir a periculosidade do resíduo de madeira tratada segundo a NBR 10004 – Classificação de resíduos sólidos, bem como estabelecer se há relação entre retenção de ingredientes ativos e lixiviação de seus elementos constituintes, comparar as concentrações destes elementos no material lixiviado com os valores de referência estabelecidos pela NBR 10004:2004, CETESB e OMS – Organização Mundial de Saúde, e definir qual dos três preservativos é menos prejudicial ao meio ambiente.

Foram tratados corpos-de-prova de pinus e eucalipto com os três preservativos nas concentrações de 1, 2 e 4% de ingredientes ativos. Após a determinação da retenção, foram realizados ensaios de lixiviação de acordo com a NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.

As concentrações dos elementos Cr e As no material lixiviado foram superiores aos limites estabelecidos pela NBR 10004:2004, bem como aos limites estabelecidos pela CETESB e OMS, o que caracteriza este tipo de resíduo como perigoso ao meio ambiente e à saúde humana.

Analisando-se estatisticamente os corpos-de-prova de cada tratamento individualmente, não foi possível estabelecer uma relação entre retenção e lixiviação dos elementos constituintes dos preservativos.

O CCA apresenta dois elementos contaminantes – Cr e As, enquanto que os dois tipos de CCB apresentam apenas o Cr.

O CCB de base óxida apresentou uma leve vantagem em relação ao CCB de base salina, com base nas concentrações de Cr determinadas no material lixiviado.

Palavras-chave: produto preservativo, CCA-C, CCB, madeira preservada, resíduo, lixiviação

ABSTRACT

Wood, being an organic material, is subject to the action of biodeteriorating agents.

The success of its use requires chemical treatments with preservation products which increase its durability and consequently, its life cycle.

Currently, water-soluble preservation products used in the treatment plants are CCA-C (chromate copper arsenate) and CCB, a mixture of copper, chromium and boron salts, which derive from either a saline basis or an oxide basis.

Due to the increasing utilization of treated wood, its residues have become a big concern, mainly among the companies which make use of huge amounts of this material – electricity and telephone concessionaires, railway companies and so on.

This work intends to define the hazard represented by the residues from treated wood according to the NBR 10004 – Classification of Solid Residues, and to establish whether there is a relation between the retention of active ingredients and the leaching of its components. It also compares the concentrations of these elements in the leached material with the reference values established by the NBR 10004:2004, CETESB and the World Health Organization, and to define which of the three preservation products is potentially less harmful to the environment.

Pinus and eucalypt specimens were treated with the three preservation products in concentrations of 1%, 2% and 4% of the active ingredients. After determining the retention, leaching tests were carried out according to the NBR 10005:2004 – Procedure for obtaining extract leachate from solid residue.

The concentrations of the elements Cr and As in the leached material were found to be above the limits established by NBR 10004:2004, as well as the CETESB and WHO limits, characterizing this kind of residue as dangerous to both the environment and human health.

The statistical analysis of the *specimens* of each treatment found no relation between retention and leaching of the component elements of the preservation products.

CCA contains two different contaminating elements: Cr and As, whereas the two kinds of CCB contain only Cr. Oxide-based CCB showed a little advantage when compared to the saline basis CCB, based on the Cr concentrations determined in the leached material.

Keywords: preservation product, CCA-C, CCB, preserved wood, residue, leachate

“A perseverança é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Modelo de estrutura celular de uma conífera	27
Foto 1	Medidor do teor de umidade da madeira	49
Foto 2	Usina piloto	51
Foto 3	Agitador rotatório de frascos	54
Gráfico 1	Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCA	56
Gráfico 2	Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCB de base salina	56
Gráfico 3	Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCB de base óxida	57
Gráfico 4	Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCA	57
Gráfico 5	Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCB de base salina	58
Gráfico 6	Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCB de base óxida	58
Quadro 1	Diagrama esquemático da fixação do CCA na madeira	26
Quadro 2	Destino final dos resíduos de madeira tratada em diferentes países	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição dos três tipos de CCA, expressa em % de ingredientes ativos	25
Tabela 2	Composição média do CCB, expressa em % de ingredientes ativos	30
Tabela 3	Área total reflorestada existente no Brasil em 31/12/2005	36
Tabela 4	Produção brasileira de produtos madeireiros por origem em 2005	37
Tabela 5	Área de reforma e plantio, por região e estado, de espécies florestais madeireiras – 2005	38
Tabela 6	Comparação entre retenção e concentração médias dos elementos no material lixiviado	55
Tabela 7	Análise de regressão – pinus tratado com CCA	59
Tabela 8	Análise de regressão – pinus tratado com CCB de base salina	60
Tabela 9	Análise de regressão – pinus tratado com CCB de base óxida	60
Tabela 10	Análise de regressão – eucalipto tratado com CCA	61
Tabela 11	Análise de regressão – eucalipto tratado com CCB de base salina	61
Tabela 12	Análise de regressão – eucalipto tratado com CCB de base óxida	62
Tabela 13	Média da concentração de As no material lixiviado	62
Tabela 14	Média da concentração de Cr no material lixiviado	63
Tabela 15	Densidade dos corpos-de-prova de pinus	74
Tabela 16	Densidade dos corpos-de-prova de eucalipto	75
Tabela 17	Teor de umidade dos corpos-de-prova de pinus	76
Tabela 18	Teor de umidade dos corpos-de-prova de eucalipto	77
Tabela 19	Teores de ingredientes ativos no CCA-C	78
Tabela 20	Limites de balanceamento para o CCA-C	78
Tabela 21	Teores de ingredientes ativos nos dois tipos de CCB	78
Tabela 22	Limites de balanceamento para o CCB	78

Tabela 23	Retenção de CCA-C em pinus	79
Tabela 24	Retenção de CCB de base salina em pinus	80
Tabela 25	Retenção de CCB de base óxida em pinus	81
Tabela 26	Retenção de CCA-C em eucalipto	82
Tabela 27	Retenção de CCB de base salina em eucalipto	83
Tabela 28	Retenção de CCB de base óxida em pinus	84
Tabela 29	Teores de Cu, Cr e As no lixiviado – pinus tratado com CCA-C	85
Tabela 30	Teores de Cu, Cr e B no lixiviado – pinus tratado com CCB de base salina	86
Tabela 31	Teores de Cu, Cr e B no lixiviado – pinus tratado com CCB de base óxida	87
Tabela 32	Teores de Cu, Cr e As no lixiviado – eucalipto tratado com CCA-C	88
Tabela 33	Teores de Cu, Cr e B no lixiviado – eucalipto tratado com CCB de base salina	89
Tabela 34	Teores de Cu, Cr e B no lixiviado – eucalipto tratado com CCB de base óxida	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPM	Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira
ACQ	Quaternário de cobre amoniacal
AWPA	American Wood Preserver's Association
BSI	British Standard Institute
CBA	Cobre azole
CCA-C	Arseniato de cobre amoniacal
CCB	Sais de cobre, cromo e boro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
EPA	Environmental Protection Agency
IA	Ingrediente ativo
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Ambiental
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
NBR	Norma brasileira registrada
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSB	Oriented Strand Board
PET	Politereftalato de etila
pH	Potencial hidrogeniônico
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROPFLORA	Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas
PSF	Ponto de saturação das fibras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Biodeterioração de Madeiras	17
3.1.1	Fungos	17
3.1.2	Bactérias	19
3.1.3	Insetos	19
3.2	Histórico da Preservação de Madeiras no Brasil	21
3.2.1	Preservativos de Madeira	23
3.2.1.1	CCA	25
3.2.1.2	CCB	29
3.3	Processos de Tratamentos Preservativos	30
3.3.1	Processos sem Pressão	31
3.3.2	Processos com Pressão	31
3.4	Panorama Atual da Preservação de Madeiras no Brasil	33
3.5	Madeira de Reflorestamento	35
3.6	A Questão Ambiental do Uso de Preservativos de Madeira	40
3.7	Resíduos de Madeira Tratada	42
3.8	Dados Toxicológicos do Cromo e Arsênio	46
4	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
4.1	Determinação do Teor de Umidade dos Corpos-de-prova	49
4.2	Determinação dos Teores de Ingredientes Ativos dos Preservativos	50
4.3	Preparo das Soluções de Tratamento	50
4.4	Tratamento dos Corpos-de-prova	50
4.5	Determinação da Retenção dos Produtos Preservativos	52
4.6	Ensaio de Lixiviação	53
4.7	Determinação dos teores de Cobre, Cromo, Arsênio e Boro no Material Lixiviado	54
5	RESULTADOS	55
5.1	Lixiviação da Madeira de Pinus e Eucalipto	55
6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	59
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
9	REFERÊNCIAS	67

Anexo A	Densidade dos corpos-de-prova	74
Anexo B	Teor de umidade dos corpos-de-prova	76
Anexo C	Teor de ingredientes ativos nos preservativos	78
Anexo D	Retenção dos preservativos em pinus	79
Anexo E	Retenção dos preservativos em eucalipto	82
Anexo F	Concentração dos elementos Cu, Cr, As e B no material lixiviado – pinus	85
Anexo G	Concentração dos elementos Cu, Cr, As e B no material lixiviado – eucalipto	88

1 INTRODUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pelo homem. Características como abundância, trabalhabilidade, propriedades físicas e mecânicas contribuíram para a expansão de seu emprego ao longo do tempo (CAVALCANTE, 1983).

É um material renovável, cujo suprimento pode ser administrado por meio de reflorestamento, tornando-se um material ambientalmente sustentável. Sua extração e beneficiamento consomem menos energia do que outros materiais como o aço, cimento e alumínio, além de apresentar propriedades físicas e mecânicas vantajosas se comparadas aos outros materiais (GERALDO, 2002).

Por ser um material orgânico, a madeira está sujeita à ação de organismos biodeterioradores (fungos e insetos). No Brasil, um país de clima tropical, onde a média de temperatura gira em torno de 25°C (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005) e com grande biodiversidade, os processos naturais de biodeterioração podem ocorrer rapidamente. Por isso, o sucesso no uso da madeira requer a execução de tratamentos químicos com produtos preservativos que incrementem a sua durabilidade, podendo-se garantir vida útil superior a outros materiais em condições bastante agressivas de exposição.

O uso de madeira de reflorestamento – desde que conduzido de forma a gerar mínimos impactos ambientais - de crescimento rápido, representa um benefício ao meio ambiente, uma vez que diminui a pressão exercida sobre as florestas nativas. Na década de 1960, optou-se por plantio dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para um programa de reflorestamento, que ampliasse a base de oferta de matéria-prima industrial e energia para o Brasil.

Segundo dados estimativos (GERALDO, 2005), a produção anual de madeira tratada, no Brasil, é de cerca de 675 mil metros cúbicos, sendo que 65% são destinadas à produção de moirões e estacas, 15% para postes, 15% para dormentes e 5% para a construção civil. Nesta divisão, há predominância da

utilização de madeiras de reflorestamento, porém ainda utiliza-se madeira nativa para a produção de dormentes ferroviários.

Atualmente, o eucalipto é a espécie mais utilizada no segmento de preservação de madeiras (GERALDO, 2002), quando o alburno – porção permeável – é totalmente impregnado por produtos preservativos.

O processo de impregnação é realizado em unidades industriais denominadas usinas de preservação de madeiras, em um processo fechado, sob alta pressão.

Atualmente, os produtos preservativos de madeira mais utilizados nas usinas de preservação são produtos hidrossolúveis:

- a) CCA (arseniato de cobre cromatado) tipo C óxido, que é um concentrado contendo os elementos cobre, cromo e arsênio;
- b) CCB, mistura de sais de cobre, cromo e boro.

A quantidade de produto preservativo a ser introduzido na madeira depende do uso que será dado à mesma. Atualmente, três normas brasileiras estabelecem a retenção, em kg/m^3 , de produtos preservativos hidrossolúveis na madeira. São elas:

- a) NBR 6236 – Madeiras para carretéis para fios, cordoalhas e cabos – estabelece retenção mínima de 2,0 ou 4,0 kg/m^3 , dependendo das propriedades mecânicas e durabilidade natural da madeira a ser utilizada (ABNT, 2004 d);
- b) NBR 9480 – Mourões de madeira preservada para cercas – estabelece retenção mínima de 6,5 kg/m^3 (ABNT, 1986);
- c) NBR 8456 – Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – estabelece retenção mínima de 9,6 kg/m^3 (ABNT, 1984);
- d) NBR 7511 – Dormente de madeira – Requisitos e métodos de ensaio – estabelece retenção mínima de 9,6 kg/m^3 (ABNT, 2005).

A produção de madeira tratada no Brasil passou de 500 mil m^3 em 2005, para 675 mil m^3 em 2006 e em 2007 estima-se a produção de 900 mil m^3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRESERVADORES DE MADEIRA, 2007). Diante desta crescente utilização de madeira tratada, a questão dos resíduos tem gerado grande preocupação,

uma vez que empresas usuárias (concessionárias de energia elétrica, telefonia, ferrovias etc.), que utilizam grande volume de madeira tratada, geram também grande quantidade de resíduos quando a madeira utilizada é retirada de serviço.

O setor de preservação de madeiras necessita de estudos que possam auxiliar na elaboração de um plano de gestão de resíduos, de modo que se diminua os impactos ambientais negativos do uso de um material totalmente renovável, mas que gera resíduos, muitas vezes contendo substâncias potencialmente tóxicas.

2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho dividem-se em gerais e específicos, conforme descritos a seguir.

2.1 Geral

O objetivo principal deste trabalho é definir a periculosidade do resíduo gerado por madeira tratada com preservativos hidrossolúveis à base de cobre, cromo, arsênio e boro retirada de serviço, utilizando-se os conceitos e procedimentos das normas NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos - classificação e 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.

2.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) estabelecer uma relação entre a retenção de ingredientes ativos dos preservativos CCA-C e CCB de base salina e de base óxida e a lixiviação dos seus elementos constituintes;
- b) comparar o comportamento dos preservativos CCA-C e CCB de base salina e de base óxida, no tocante à lixiviação de seus componentes;

- c) comparar as concentrações de cromo e arsênio obtidas no material lixiviado com valores de referências estabelecidos pela NBR 10004:2004, CETESB e Organização Mundial da Saúde;
- d) estimar qual dos três preservativos apresenta menor teor de elementos contaminantes após a lixiviação da madeira tratada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração do presente trabalho, foi realizada a revisão bibliográfica a seguir.

3.1 Biodeterioração de Madeiras

Biodeterioração é um termo utilizado para designar alterações indesejáveis produzidas, direta ou indiretamente, por seres vivos, em diversos materiais utilizados pelo homem. Em alguns aspectos, é um processo indesejável, pois, causa prejuízos ao homem, tanto por ataque de fungos como por ataque de insetos em componentes de madeira (LELIS et al., 2001).

Entre os agentes biodeterioradores, os principais são os fungos e os insetos.

3.1.1 – Fungos

Os fungos são microrganismos que se desenvolvem dentro das células da madeira onde, pela produção de enzimas extra-celulares, decompõem os diferentes constituintes da parede celular ou substâncias depositadas no lúmen das células (LEPAGE et al., 1986).

Os fungos são disseminados no ambiente por meio de esporos, na presença de condições de temperatura e umidade apropriadas.

De acordo com suas atividades enzimáticas, os fungos podem ser classificados nos seguintes grupos (KAARIK, 1975 apud LEPAGE et al., 1986):

a) Fungos manchadores e emboloradores, que se utilizam das substâncias existentes na cavidade das células e que não decompõem, as paredes celulares

Esses fungos acarretam prejuízos principalmente de ordem estética, pois alteram a coloração original da madeira. Quase todos eles são incapazes de atacar a madeira quando a porcentagem de umidade encontra-se abaixo do ponto de saturação das fibras (este conteúdo varia com a espécie de madeira, mas gira em torno de 25%) (LELIS et al., 2001).

b) Fungos xilófagos, que promovem a degradação das paredes celulares, mudando suas propriedades físicas e químicas, afetando profundamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Dois dos tipos de podridão existentes são descritos por Blanchete (2000) e outro por Lelis et al. (2001), sendo:

a) Podridão branca – causada por fungos pertencentes à família dos basidiomicetos; provocam degradação de todos os componentes primários da madeira, (celulose, hemiceluloses, e outros carboidratos) inclusive da lignina, ocasionando perda de massa e alteração das propriedades físicas e mecânicas.

b) Podridão parda – causada por fungos pertencentes também à família dos basidiomicetos, ocorre a tanto a degradação da celulose quanto das hemiceluloses, mas deixando a lignina praticamente intacta.

c) Podridão mole – causada por fungos pertencentes à família dos ascomicetos, capazes de atacar a celulose e hemicelulose da madeira em situações que outros são inibidos; o ataque se restringe à superfície da madeira, não ultrapassando mais do que 20mm de profundidade, porém, criando condições para o ataque de outros fungos xilófagos.

3.1.2 Bactérias

O ataque por bactérias é comum em madeiras mantidas submersas por algumas semanas ou meses, submetidas a condições de anaerobiose (ausência de oxigênio). O fator mais importante para a instalação de bactérias é o elevado teor de umidade (LEPAGE et al., 1986).

Segundo KIM e SINGH (2000), em ambientes úmidos, as bactérias são mais tolerantes às condições de ausência total ou pouco oxigênio. O padrão de decomposição da madeira por bactérias é diferente do padrão ocasionado por fungos. As bactérias atacam principalmente os elementos não lignificados da madeira e podem ser reconhecidas três diferentes formas de decomposição das paredes celulares: túneis tortuosos, erosão produzindo valas e cavidades que ocorrem na direção perpendicular ao eixo longitudinal da célula.

3.1.3 Insetos

Dois tipos de insetos são os principais responsáveis pelos danos causados à madeira: os cupins e as brocas-de-madeira.

Os cupins são insetos sociais que vivem em castas e estão presentes, principalmente, em regiões tropicais. Têm como alimento básico a celulose; porém como esta é uma substância de difícil digestão, é necessária a atuação de microrganismos (flagelados ou bactérias) que vivem em seu trato digestivo liberando diversas substâncias que realizam a maior parte da digestão da celulose (LELIS et al., 2001).

Silva e Bandeira (1997) afirmam que os cupins consomem até 50% da matéria vegetal depositada na superfície dos solos e florestas tropicais, mas apenas algumas espécies causam prejuízos ao homem.

Estes insetos constituem a ordem Isoptera, que está dividida em sete famílias: Mastotermitidae, Hodotermitidae, Termopsidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae, porém, somente as quatro últimas são encontradas no Brasil (GRASSÉ, 1986).

Essas quatro famílias de cupins, que são freqüentemente agrupados de acordo com seus hábitos de nidificação e conforme o local em que a colônia se estabelece, são chamados de “cupins-de-madeira” (família Kalotermitidae) , “cupins-de-solo” (famílias Rhinotermitidae e Termitidae) e “cupins-arborícolas” (famílias Termitidae e Serritermitidae) (LELIS et al., 2001).

Os cupins-de-solo podem ser divididos em dois grupos: subterrâneos e epígeos (não-subterrâneos). Os subterrâneos vivem no solo, onde constroem galerias que os protegem e permitem atingir a madeira da qual se alimentam. O solo lhes fornece bastante provisão de umidade. As galerias são feitas de terra e restos de madeira parcialmente digeridas. Dessa forma, isolam-se em condições de luz, calor e umidade que são indispensáveis para sua sobrevivência. Atacam, principalmente, a madeira com maior teor de umidade, como a encontrada em fundações de prédios, postes, dormentes, moirões de cerca, dentre outras. Por outro lado, os cupins não-subterrâneos encontram na madeira sua moradia e alimento. Como vivem em condições de baixa umidade, atacam a madeira relativamente seca (JANKOWSKY, 1990).

As brocas-de-madeira, da ordem Coleóptera, cujos adultos são besouros, pertencem a um grupo distinto dos cupins. Não são insetos sociais e seu desenvolvimento pós-embrionário é do tipo homotábolo, ou seja, o inseto passa por uma metamorfose completa durante o seu crescimento (LELIS et al., 2000). O ataque de brocas-de-madeira se inicia quando a fêmea adulta deposita seus ovos na madeira. Desses ovos, eclodem larvas que irão se alimentar desse substrato, até atingir a fase adulta, sendo a fase larval a principal responsável pelos danos causados à madeira. Uma vez na fase adulta, os insetos perfuram a madeira e saem para o meio externo.

3.2 Histórico da Preservação de Madeiras no Brasil

Preservar a madeira significa adotar algum procedimento específico para aumentar sua vida útil, protegendo-a, desta forma, do ataque de organismos xilófagos, fungos ou insetos.

O desenvolvimento da preservação de madeiras no mundo teve bases empíricas, até o século XVI, e estava associado, principalmente, à erradicação e prevenção de ataque em madeiras de embarcações. Somente a partir do século XIX, com o início da implantação de ferrovias e linhas de transmissão de energia elétrica, é que o setor começou a apresentar desenvolvimento mais sólido, apoiado em bases científicas (CAVALCANTE, 1983).

A primeira usina de preservação de madeiras, no Brasil, foi importada da Inglaterra, em 1900. Foi instalada pelo Governo Federal, em Juiz de Fora, MG, e começou a operar em 1902, para tratar dormentes ferroviários (CAVALCANTE, 1983).

A segunda usina, de cunho privado, foi instalada em 1945, em Rio Claro, SP com o objetivo de tratar postes de eucalipto, que começaram a ser utilizados para sustentação dos cabos de distribuição da energia elétrica.

Em 1945, instalou-se, no IPT, na Cidade Universitária em São Paulo, a primeira usina de preservação de madeiras para fins de pesquisa tecnológica, que entrou em funcionamento em 1947.

Alguns fatos estimularam o desenvolvimento do setor de preservação de madeiras, como as promulgações da Lei Federal Nº 4797, de 20/10/1965 (BRASIL, 1965), dos Decretos Lei Nº 58.016, de 18/03/66 (BRASIL, 1966), e o 61.248, de 30/08/1967 (BRASIL, 1967), estabelecendo que toda madeira tratada, utilizada em serviços públicos de transporte e energia, deveria passar por tratamento preservativo, regulamentando, dessa forma, seu uso.

Em 1931, o Gabinete de Resistência de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo passou a se chamar Laboratório de Ensaio de Materiais, atual IPT. Neste mesmo ano, desenvolveu-se a primeira pesquisa em preservação de madeiras, que tinha como objetivo avaliar a penetração de preservativo hidrossolúvel aplicado por imersão em estacas, o efeito desse tratamento nas propriedades mecânicas da madeira e aumento na vida média que o produto conferia à madeira (LEPAGE et al., 1986).

Entre 1940 e 1970, houve expansão da demanda de postes de madeira tratada, por conta do aumento da capacidade geradora instalada no Brasil, que passou de 1.244

MW em 1940 para 11.233 MW em 1970 (LEPAGE et al., 1986). Mas, como não houve respaldo técnico que garantisse a qualidade do produto final, a vida útil dos postes não foi aquela esperada. Isso fez com que o produto caísse em descrédito e desse margem à expansão do mercado de postes de concreto, em detrimento do mercado de postes de madeira (MORAES e BACHA, 1996).

Em 1969, foi fundada em São Paulo, a ABPM – Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira, o que contribuiu para melhorar a organização do setor. Em 1972, foi publicada, pelo Governo Federal, a Portaria N° 2748-DN (BRASIL, 1972) que regulamentava a produção de madeira tratada e dos produtos preservativos para madeira, contribuindo para melhorar o suporte técnico aos produtores.

Ainda em 1972, foi implantado o Convênio IBDF/IPT/ABPM (atual Convênio IPT/ABPM), com o objetivo de realizar o controle de qualidade da madeira preservada produzida no Brasil, por meio de ensaios realizados em laboratório do IPT.

O número de usinas de preservação de madeira passou de 16, em 1970, para 67, em 1980 (MORAES e BACHA, 1996), o que significou um aumento de mais de 300%. Este crescimento é explicado pelo grande desenvolvimento nos setores de transporte e energia no Brasil. Por ser uma indústria extremamente dependente de obras estatais – já que seus principais produtos (postes e dormentes) são vendidos às empresas estatais, dos setores ferroviário e elétrico, a partir de 1980 a indústria de preservação de madeiras começou a decrescer, devido à situação econômica do País.

Entre 1995 e 1996, existiam 68 usinas de preservação de madeira sob pressão, com capacidade de produção anual estimada em 865.000 m³. Deste total, 14 estavam inativas e 14 pertenciam a empresas estatais dos setores ferroviário e elétrico, tratando madeira apenas para consumo próprio. Das 40 usinas restantes, tinha-se a capacidade anual de produção estimada em 680.000 m³ (MORAES, 1996).

Atualmente, estão em operação, no Brasil, cerca de 160 usinas de preservação, sendo que a grande maioria utiliza o preservativo CCA tipo C (GERALDO, 2005).

Grande parte dessas usinas está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do País, onde encontram-se as maiores áreas plantadas de pinus e eucalipto.

3.2.1 – Preservativos de Madeira

Lepage et al. (1986) descrevem as características que um produto preservativo deve apresentar para ser eficiente:

- a) **Eficiência:** é o requisito básico de todo preservativo. Deve apresentar toxidez à gama mais ampla possível de organismos xilófagos. A medida dessa eficiência é feita, preliminarmente, por meio de ensaios de laboratório e depois em ensaios de campo. Deve ainda, permitir penetração profunda e uniforme na madeira; esta característica está correlacionada com o método de tratamento empregado;
- b) **Segurança:** deve apresentar toxidez baixa em relação a seres humanos e animais domésticos, além de não aumentar as características de combustibilidade e de flamabilidade inerentes à madeira. As soluções preservativas utilizadas não devem ser corrosivas a metais e plásticos com que são confeccionados os recipientes e equipamentos, pois caso o sejam, podem ocorrer vazamentos que podem gerar severos danos ambientais;
- c) **Permanência ou resistência à lixiviação/solubilização:** depende das propriedades físicas e químicas dos preservativos e a maneira pela qual os mesmos se fixam na madeira; para ser resistente à lixiviação deve ser insolúvel em água ou formar complexos insolúveis, por meio de reações químicas do preservativo com os componentes da parede celular da madeira;
- d) **Custo:** é sem dúvida o fator que viabiliza o uso de um produto que apresente todas as potencialidades anteriormente mencionadas. A madeira preservada tem que apresentar competitividade com outros materiais em termos de custo.

Os preservativos têm peso considerável na composição de custos, que sem dúvida, deve ser preocupação permanente na pesquisa de novas alternativas, impostas pelas restrições de natureza ambiental cada vez mais rigorosas;

- e) **Outras características:** além das já mencionadas, existem outras que poderiam ser denominadas facultativas e que são impostas pela peculiaridade de cada situação de uso. Por exemplo, madeira para habitação e certos tipos de embalagens devem deixar a superfície limpa e isenta de odores residuais. Para

dormentes ferroviários, a condutividade elétrica é um fator relevante, devido ao sistema de sinalização.

Os produtos preservativos podem ser divididos em três categorias, de acordo com a natureza do solvente (LEPAGE et al., 1986):

Oleosos – representados na sua grande maioria pelo óleo creosoto, que é obtido pela destilação do alcatrão da hulha, o qual por sua vez, é um subproduto recuperado no processo de obtenção do coque siderúrgico (JANKOWSKY, 1990).

O creosoto é uma mistura complexa de aproximadamente 160 compostos de hidrocarbonetos, dos quais os 18 mais importantes são compostos cíclicos aromáticos (80% do creosoto é formado por compostos conhecidos como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – PAH) (BROOKS, 2000). Atualmente, o creosoto corresponde a 5% dos preservativos utilizados em usinas de preservação no Brasil (BRAZOLIN, 2005);

Oleossolúveis – são produtos que necessitam de um veículo oleoso para penetrar na porção permeável da madeira, constituindo-se de misturas complexas de agentes fungicidas e inseticidas, à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica, como por exemplo, o pentaclorofenol (atualmente proibido), emulsões de creosoto, naftenatos, tribromofenol;

Hidrossolúveis – são produtos que utilizam a água como veículo; geralmente são expressos em termos de ingredientes ativos, para indicar as formulações dos preservativos numa mesma base estequiométrica. Os preservativos hidrossolúveis utilizados atualmente no Brasil são o CCA tipo C e o CCB, que pode ser tanto de base salina quanto de base óxida.

3.2.1.1 CCA

O CCA é a designação mais conhecida do arseniato de cobre cromatado, formulado em reatores industriais, sob condições controladas, com produtos de pureza acima de 95% de base anidra, que são as fontes de cobre (Cu), cromo (Cr) e arsênio (As).

Atualmente, é o preservativo de madeira mais utilizado no Brasil e no mundo, correspondendo a 80% do que é utilizado pelas usinas de preservação (BRAZOLIN, 2005).

O CCA foi patenteado nos Estados Unidos, em 1938, (THOMPSON e KOCK, 1981) e, a partir da década de 1970, vem sendo largamente utilizado. No Brasil, é utilizado desde 1959 e produzido desde 1975 (CAVALCANTE, 1983).

Três formulações de CCA são normatizadas, definidas como tipos A, B e C, de acordo com as proporções de seus componentes, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 Composição dos três tipos de CCA, expressa em % de ingredientes ativos

Componentes	Tipo A	Tipo B	Tipo C
CrO ₃	65,5	35,3	47,5
CuO	18,1	19,6	18,5
As ₂ O ₃	16,4	45,1	34,0

Fonte: Lepage et al. (1986).

Em cada um dos tipos de CCA, os componentes cobre, cromo e arsênio estão presentes em variadas proporções. As diferentes proporções de cada elemento são definidas na base óxida equivalente de cada elemento (RICHARDSON, 1978).

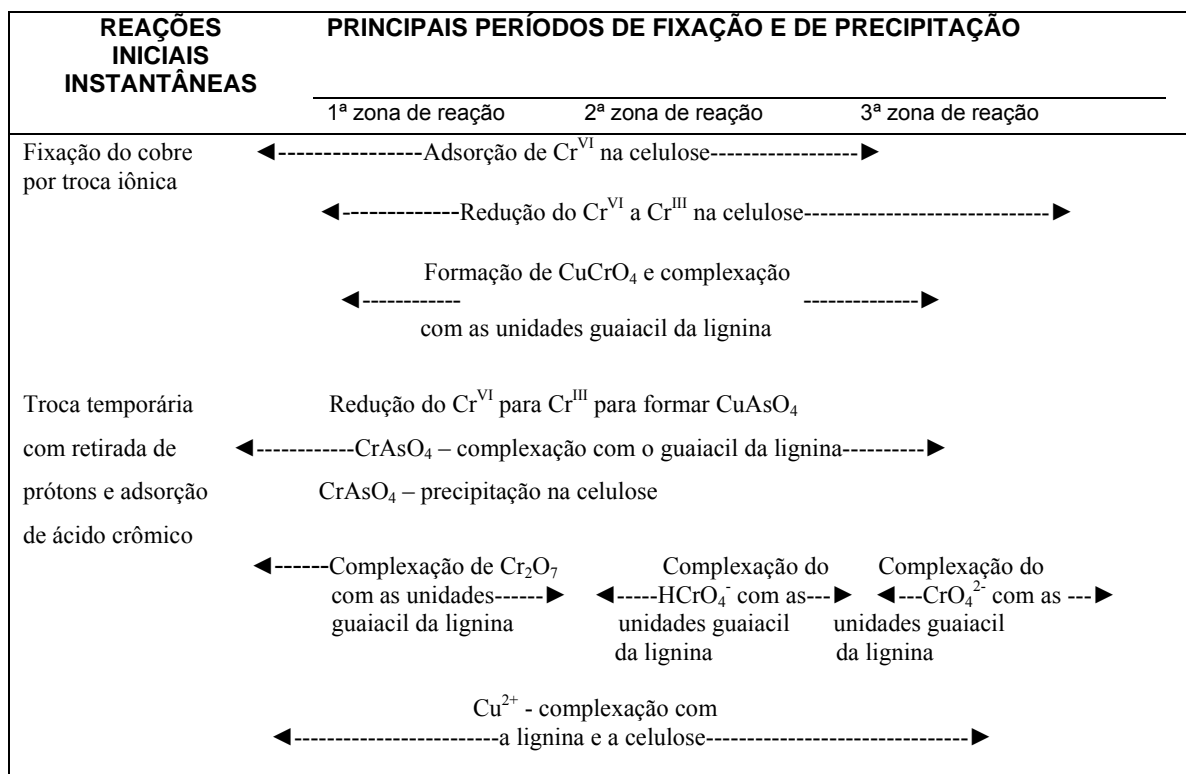
Os preservativos do tipo CCA têm composição química conhecida com exatidão. Estes compostos são altamente efetivos e são fixados na madeira através da formação de compostos insolúveis, oriundos da reação do CCA com os componentes da parede celular da madeira – Quadro 1; suas soluções não têm odor e são estáveis à temperatura ambiente (WILKINSON, 1979).

Atualmente, sabe-se que as reações de fixação do CCA-C na madeira estão relacionadas à espécie da madeira. Essas diferenças no processo de fixação são atribuídas às diferenças nos tipos de extrativos presentes (GUO et al., 2002).

Entretanto, é possível que outros fatores, como a densidade da madeira, pH e capacidade de tamponamento (capacidade de resistir às mudanças de acidez e alcalinidade) e características anatômicas como a distribuição das células e composição

química da madeira, possam também influenciar na fixação do CCA na madeira (JANEZIC; COOPER e UNG, 2000).

Um diagrama esquemático das reações de fixação do CCA na madeira é mostrado no Quadro 1.



Quadro 1 – Diagrama esquemático da fixação do CCA na madeira

Nota: Zona de reação – etapa em que ocorrem as reações químicas

Fonte:Lepage et al. (1986)

As reações instantâneas iniciais do CCA com a madeira resultam em rápido decréscimo de pH, atribuído à fixação do cobre por troca iônica, com liberação de prótons. A magnitude desse decréscimo depende da concentração da solução de tratamento. Após esse decréscimo inicial, o pH aumenta, à medida em que as reações de fixação progridem, quando há formação dos complexos lignina-ácido crômico e lignina-cromato de cobre, e também redução do cromo.

A maioria do cobre fixado na madeira está localizado na sub-camada S1 (Figura 1), sugerindo assim a associação do cobre com a lignina, encontrando-se também cobre associado com a celulose, provavelmente ligado aos grupos hidroxila – OH. O cromo

forma compostos com a madeira nas formas trivalente e hexavalente. Na forma hexavalente, forma compostos com as unidades guaiacil da lignina.

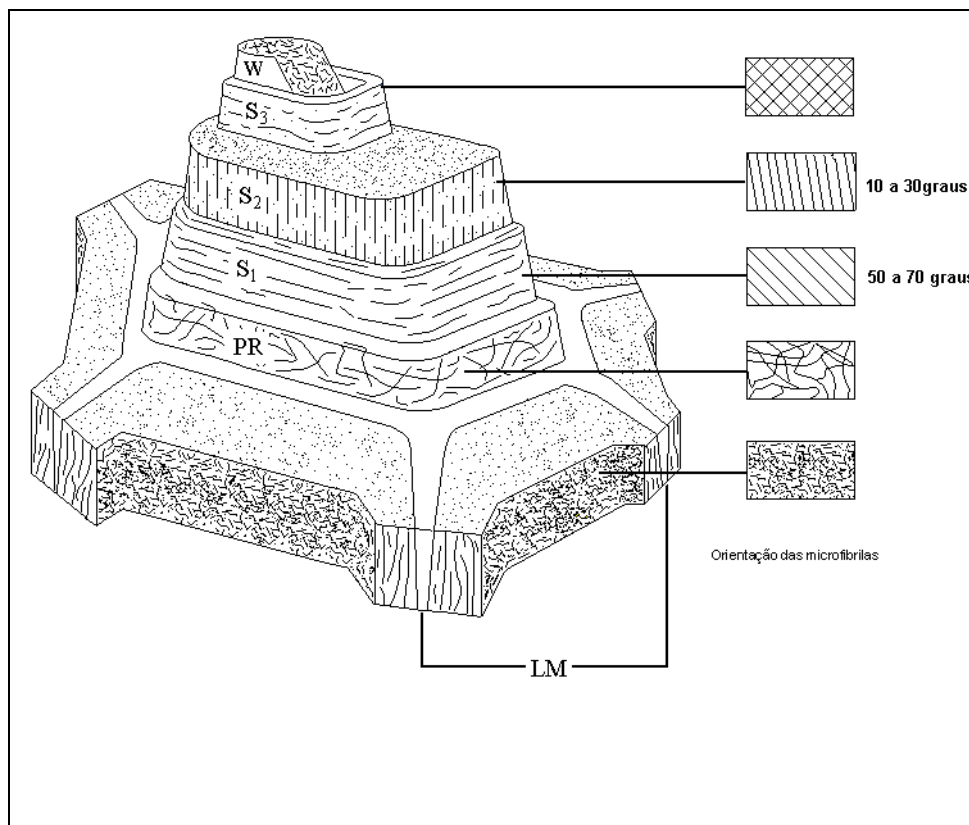


Figura 1 – Modelo de estrutura celular de uma conífera

Legenda - LM – lamela média, P – parede primária, S1 – camada 1 da parede secundária, S2 – camada 2 da parede secundária, S3 – camada 3 da parede secundária, W – camada verrugosa.

Fonte: Klock (s.d.)

Os complexos formados pelos componentes do CCA com a madeira conferem ao preservativo grande eficácia. A formação desses complexos confere certa repelência à água, e resistência à lixiviação dos componentes do preservativo. Quando o cromo é reduzido para a forma trivalente, reage com o arsênio formando CrAsO_4 (arseniato de cromo).

Na madeira tratada, aproximadamente 85% do arsênio reage com o cromo, e o restante forma complexos relativamente insolúveis com a lignina e a celulose (LEPAGE et al., 1986).

Fatores como grau de absorção, distribuição do preservativo, concentração na madeira, permeabilidade da madeira, parâmetros do processo de impregnação, temperatura e teor de umidade da madeira, durante a fixação, podem influenciar na lixiviação dos componentes (BROWN e EATON, 2000).

Um experimento descrito por Osborne e Fox, 1995 apud Freitas, 2002, comparou 5 níveis de retenção de CCA-C, abaixo e acima do solo, em postes após 6 anos de serviço e verificou-se que não existia diferença significativa de preservativo nos postes. Os níveis de cobre e arsênio eram inferiores abaixo do nível do solo, indicando lixiviação mais alta desses componentes em solo úmido. O arsênio apresentava-se mais lixiviado que os outros componentes

Por meio de um trabalho que mostra os índices de desempenho esperados para várias composições do CCA ensaiadas com retenções de $6,4 \text{ kg/m}^3$ de ingredientes ativos após 192 meses de exposição, concluiu-se que a formulação C é a mais eficiente das três em termos de durabilidade da madeira (HARTFORD et al., 1979 apud LEPAGE et al., 1986).

O cobre age como fungicida, precipitando proteínas e causando interferência no metabolismo dos fungos, por meio de reações enzimáticas. O arsênio possui caráter inseticida, apresentando também toxicidade a muitos fungos. O cromo, quando empregado sozinho, não tem nenhuma função preservativa, porém funciona como agente fixador do cobre e do arsênio, tornando esses componentes resistentes à lixiviação (WILLIAMS et al., 1991).

3.2.1.2 CCB

Moreschi (2005) relata que o surgimento do CCB se deveu à demasiada preocupação com o arsênio em determinados tipos de ambiente em que a madeira é utilizada, surgindo questões sobre a exposição do usuário da madeira tratada com CCA. Ao passo que muitas pesquisas comprovem não haver riscos de contaminação de solo por lixiviação natural deste elemento químico (principalmente em áreas de *playground*), a sua utilização ainda é encarada com preocupação, particularmente nos países mais frios, em ambientes fechados que necessitam de calefação por tempo prolongado.

Supõe-se que, em tais ambientes, além da volatilização do arsênio ser promovida por efeito do aquecimento artificial, não ocorre a adequada renovação do ar (o que o deixa com alto teor deste contaminante), pela necessidade de manter a temperatura conseguida pelo sistema de aquecimento. Por essas hipóteses, iniciaram-se pesquisas objetivando a substituição do arsênio do produto CCA por boro, dando origem ao CCB, apontado como alternativa ambientalmente mais segura.

O CCB começou a ser comercializado na Alemanha no início dos anos 1960, e é hoje um dos produtos mais utilizados no tratamento das madeiras que serão expostas a severas condições de uso. Porém, em diversos países como Estados Unidos (AMERICAN WOOD PRESERVER'S ASSOCIATION, 2007), Canadá, Austrália (NEW SOUTH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2003), Nova Zelândia e Grã Bretanha (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 1999), que têm tradição no uso de madeiras preservadas, não existem referências ao uso do CCB na preservação de madeiras. No Brasil, o CCB começou a ser produzido e utilizado em 1961 (CAVALCANTE, 1983).

O CCB pode ser formulado de duas maneiras diferentes. Uma delas consiste apenas na mistura de compostos salinos na forma de cristais, como fontes de cobre (Cu), cromo (Cr) e boro (B); é conhecido como CCB de base salina.

Já o CCB de base óxida é produzido de forma similar ao CCA, ou seja, em reatores industriais, sob condições controladas. Essa característica pode minimizar ou até eliminar o problema de lixiviação do boro, porém, existe controvérsia sobre tal fato.

Atualmente, apenas uma usina em Itu - SP, tem o registro junto ao IBAMA para a produção de CCB de base salina, porém, o faz apenas para consumo próprio. Outra indústria, em São Paulo, SP, produz o CCB de base óxida para comercialização junto às usinas de preservação.

A formulação comercial mais comum do CCB tem como base uma mistura contendo 35,8% de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 22,4% de H_3BO_3 ; 38,5% de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e 2,1% de NaHSO_4 (valores expressos em % de massa) (LEPAGE et al., 1986).

A composição do CCB, expressa em porcentagem (%) de ingredientes ativos é dada na Tabela 2.

A dúvida levantada sobre a eficiência do CCB, principalmente o de base salina, recai em sua resistência à lixiviação e sua eficiência na proteção aos insetos, principalmente a longo prazo, devido à possível lixiviação do boro (LEPAGE et al., 1986).

Tabela 2 – Composição média do CCB, expressa em % de ingredientes ativos

Composição	% de ingredientes ativos
CuO	26,0
CrO ₃	63,5
B	10,5

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984)

3.3 Processos de Tratamento Preservativos

É importante salientar que nenhum produto será efetivamente eficiente se não for corretamente aplicado.

Os métodos convencionais de preservação de madeira podem ser divididos em duas categorias, com e sem aplicação de pressão:

3.3.1 Processos sem Pressão

São utilizados em aproximadamente 16% da madeira tratada produzida no País (BRAZOLIN, 2005), por meio de processos como aspersão, pincelamento, imersão e, no caso da fabricação de painéis, pela adição de preservativo na cola.

Brazolin (2005) lista os produtos utilizados nos tratamentos sem pressão:

a) Inseticidas – nesta categoria utilizam-se os organoclorados Lindane (atualmente proibido) e Endosulfan; os bromados Tribromofenato de Sódio; e os piretróides sintéticos Cipermetrina e Deltametrina.

b) Fungicidas – aqui incluem-se os organoclorados Pentaclorofenato de Sódio (também proibido), Prochloraz; os carbamatos e quelatos de Cobre como Quinolinolato de Cobre 8, Carbendazin e IPBC (iodo propinil butil carbamato); e produtos de origem vegetal como o tanino, que é um piretróide natural.

c) No caso da fabricação de painéis compensados, aglomerados, MDF (*Medium Density Fiberboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*), são utilizados os piretróides sintéticos Deltametrina, Cipermetrina e Ciflutrin; e o pirazol Fipronil.

3.3.2 Processos com Pressão

São processos que utilizam pressões superiores à pressão atmosférica para forçar a entrada do produto preservativo na madeira. São processos mais eficientes pois promovem a penetração total do preservativo em madeiras permeáveis e com teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (em torno de 25%), além de permitirem melhor controle da quantidade de preservativo absorvido (retenção) para a proteção da madeira (LELIS et al., 2001).

Os processos com pressão mais utilizados são:

a) Célula cheia (ou processo Burnett) – uma vez dentro da autoclave, a madeira passa por um período de vácuo inicial, com a finalidade de retirar parte do ar das camadas superficiais da madeira, para favorecer a entrada do produto preservativo.

A admissão do preservativo é feita aproveitando-se o vácuo existente no interior da autoclave (no caso da utilização de creosoto, o produto deve estar a uma temperatura que varia entre 80 e 100°C); caso necessário, utiliza-se o auxílio de uma bomba de transferência. Utilizando-se uma bomba de pressão, o preservativo é recalado durante um período suficiente para alcançar a retenção desejada em torno de 2 horas). Decorrido este período, a pressão da autoclave é aliviada, e a solução preservativa transferida para o tanque de armazenamento. Após essa etapa, é aplicado o vácuo final, para a retirada do excesso de preservativo das camadas superficiais da madeira (LEPAGE et al., 1986; LELIS et al., 2001). A denominação deste processo deve-se à deposição do preservativo não somente nas paredes mas também no lúmen das células. Ele é indicado para a preservação de madeiras do grupo das folhosas (eucalipto) (LELIS et al., 2001).

b) Célula vazia (ou processo Lowry) – neste caso não é aplicado o vácuo inicial. A solução preservativa é transferida para o interior da autoclave sem a retirada do ar de seu interior. Uma variante desta operação é a transferência da solução preservativa para a autoclave pressurizada, sem que seja permitida a queda de pressão no seu interior (processo Rüeping) (LEPAGE et al., 1986; LELIS et al., 2001). No processo de célula vazia ocorre a deposição do preservativo preferencialmente nas paredes das células, e é recomendado para madeiras do grupo das coníferas (Pinus), que possuem alta permeabilidade à produtos preservativos, embora deva ser feito um controle mais rigoroso do balanceamento químico da solução, que pode sofrer constantes alterações por conta da presença dos extrativos da madeira. (LELIS et al., 2001).

Os processos de tratamento com pressão são realizados em unidades industriais próprias para esse fim, denominadas Usinas de Preservação de Madeiras.

O tratamento preservativo, em síntese, engloba as seguintes operações: secagem da madeira, tratamento em autoclave, pós-tratamento.

A introdução de produtos preservativos na madeira somente é realizada com êxito quando a madeira apresenta teor de umidade suficientemente baixo. Em geral, a madeira está em condições de receber tratamento preservativo quando seu teor de umidade médio estiver abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), o qual corresponde a um teor de umidade em torno de 25% (LEPAGE et al., 1986).

O teor de umidade na madeira, expresso em porcentagem (%), é definido como sendo a massa de água em relação à massa de madeira completamente seca. Esse teor de umidade sempre tende a atingir o ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ar. Nas usinas de preservação, o controle do teor de umidade é um dos fatores que garante a qualidade da madeira tratada.

No processo de impregnação, algumas medidas são fundamentais para que o tratamento das peças seja eficaz. Assim, o controle da qualidade dos produtos e das soluções preservativas (concentração e balanceamento químico) e o controle do processo de preservação (parâmetros de tratamento), ou seja, tempo, pressão e vácuo devem ser observados de acordo com critérios previamente estabelecidos.

A qualidade do tratamento sempre será determinada pelos seguintes parâmetros: penetração do produto, que deverá atingir integralmente toda a porção permeável da madeira, em qualquer ponto e a retenção dos ingredientes ativos, que por sua vez, depende do uso que será dado à madeira tratada.

3.4 Panorama Atual da Preservação de Madeiras no Brasil

No Brasil, em 2005, foram tratados aproximadamente 675 mil m³ de madeira, sendo que cerca de 80% com CCA, 15% com CCB e 5% com creosoto.

Embora a produção brasileira ainda esteja concentrada no setor das chamadas utilidades, que englobam postes, moirões, dormentes e estacas para agricultura, seu perfil vem mudando, com o crescimento do volume de madeira tratada utilizada na construção civil (MORAES e BACHA, 1996).

Em levantamento referente ao período de 1999 a 2000, realizado sobre o setor de preservação de madeiras no Brasil (COSTA et al., 2002), as seguintes características foram apresentadas:

As regiões Sul e Sudeste são as que mais produzem madeira tratada (90,4%). No Brasil, o eucalipto foi a espécie mais utilizada no setor de preservação de madeiras (67,5%) em comparação com o pinus. Neste período, os dados de volume de madeira tratada mostraram que os moirões representavam 56%, seguidos pelos postes (27%), madeira serrada (12%) e dormentes (1,5%).

Nas usinas de preservação e usuários, o CCA representou 64 % do volume utilizado, o lindane 21% e o creosoto 11%; o CCB e o tribromofenato de sódio, apenas 3% e 1%, respectivamente. Esses dados indicam que o método de tratamento mais utilizado foi sob pressão em autoclave (84%), sendo que o restante da madeira foi tratada por imersão (pré-tratamento de madeiras recém-serradas) e por adição na cola, no caso da fabricação dos diversos tipos de painéis de madeira.

Segundo estudo da evolução da indústria de preservação de madeiras no Brasil, em comparação com outros países, Moraes e Bacha (1996) confirmaram que a origem dessa indústria foi para tratar de produtos de utilidades (moirões, postes e dormentes),

sendo que, atualmente, os países mais desenvolvidos mudaram o perfil de produção de sua indústria, principalmente, para madeira serrada.

Em termos de controle de qualidade, atualmente, no Brasil, registra-se a atuação do Convênio IPT/ABPM, por meio do qual são realizados ensaios em madeira tratada, preservativos de madeira e soluções preservativas. Os ensaios são realizados pelo Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais, do Centro de Tecnologia de Recursos Florestais do IPT, com cerca de 350 análises/mês, o que significa expressivo aumento em relação aos anos anteriores (na década de 1990 chegou-se a 50 análises/mês). Isso significa que há crescente preocupação com a qualidade da madeira preservada produzida no Brasil.

Nos Estados Unidos, segundo Preston (2000), neste mesmo ano, a produção de madeira tratada foi estimada em 15 milhões de metros cúbicos. Naquele País, o negócio de preservação de madeiras mudou seu foco, da indústria de utilidades para madeira serrada tratada para uso na construção civil. No mercado norte-americano, os volumes produzidos de postes, moirões, dormentes e estacas são pequenos quando comparados com 30 anos atrás e ao mercado de madeira tratada para construção civil, que representa hoje 70% do volume produzido.

3.5 Madeira de Reflorestamento

O uso de madeira de reflorestamento foi promovido para suprir as variadas necessidades de utilização de madeiras e também visando a preservação de florestas nativas. Na década de 1960, o Brasil optou pelos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para um programa de reflorestamento, por produzirem madeira de crescimento rápido com múltiplas aplicações. Entretanto, para otimizar o seu uso, em algumas situações é preciso considerar a permeabilidade das espécies aos produtos utilizados no tratamento químico, de modo a garantir o aumento de sua vida útil.

Atualmente, no Brasil, o Programa Nacional de Florestas do Ministério do Meio Ambiente aponta déficit de madeira oriunda de reflorestamento. Para suprir todos os segmentos industriais, são cortados cerca de 450 mil ha/ano de pinus e eucalipto e a área reflorestada anualmente tem sido de 150 mil ha/ano, ocasionando déficit de 300

mil ha/ano. A área reflorestada no Brasil é de 4,6 milhões de hectares, sendo que deste total cerca de 2,9 milhões de hectares são reflorestados com eucalipto e 1,7 milhões de hectares, com pinus; o Brasil possui a segunda maior área de reflorestamento de eucalipto do mundo (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2001).

No Brasil existem cinco principais agentes reflorestadores: empresas produtoras de celulose, empresas siderúrgicas, empresas de produtos sólidos de madeira (como madeira serrada e chapas de madeira), governos estaduais (por meio de seus institutos florestais e outras agências) e pequenos produtores (BACHA e BARROS, 2004).

A Tabela 3 mostra a área total reflorestada, por estado brasileiro, no final de 2005, evidenciando a proporção entre florestas de pinus e eucalipto, por estado.

Tabela 3 – Área total reflorestada existente no Brasil em 31/12/2005 (em ha)

Estado	Eucalipto	%	Pinus	%	Total
MG	1.063.744	87,4	153.000	12,6	1.216.744
SP	798.522	84,4	148.020	15,6	946.542
PR	114.996	14,5	677.772	85,5	792.768
SC	61.166	10,4	527.079	89,6	588.245
BA	527.386	90,6	54.746	9,4	582.132
RS	179.690	49,3	185.080	50,7	364.770
ES	204.035	97,7	4.898	2,3	208.933
MS	113.432	74,5	38.909	25,5	152.341
PA	106.033	99,9	149	0,1	106.182
AP	60.087	68,3	27.841	31,7	87.928
GO	47.542	78,1	13.330	21,9	60.872
MA	60.745	100	0	0	60.745
MT	42.417	99,9	43	0,1	42.460
Outros	27.409	88,4	3.703	11,9	31.112
Total	3.407.204		1.834.570		5.241.774
Outras espécies					326.176
Total Geral					5.567.950

Fonte:Sociedade Brasileira de Silvicultura (2006)

A Tabela 4 indica a produção brasileira de produtos madeireiros, com sua respectiva origem, floresta plantada ou nativa.

Tabela 4 – Produção brasileira de produtos madeireiros por origem em 2005 (1000 unidades)

Produto	Unidade	Volume/Quantidade	Origem plantada (%)	Origem nativa (%)
Celulose	t	10.352	100	-
Pasta de alto rendimento	t	500	100	-
Papel	t	8.597	100	-
Papelão ondulado	t	2.200	100	-
Pallets	t	516	55 ²	45 ²
Carvão	mdc	38.051	49,7	50,3
Chapas de fibra	m ³	505	100	-
Aglomerado	m ³	2.040	100	-
MDF	m ³	1.664	100	-
PMVA	m ³	1.181 ¹	63	37
OSB	m ³	263	100	-
Compensados	m ³	3.700	63,2	36,8
Madeira serrada	m ³	23.500	38,3	61,7

Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura (2006)

Notas: ¹ Inclui somente molduras e EGP (painéis colados lateralmente); ² Estimativa

Nos últimos anos, várias instituições nacionais como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, o Banco do Brasil, o Ministério do Desenvolvimento Agrário e o Ministério do Meio Ambiente têm criado e desenvolvido programas de financiamento ao setor florestal, com apoio de empréstimos a produtores e empresas florestais. Para tentar reverter o quadro atual de escassez de madeira de reflorestamento, desde 2002, o Governo Federal tem oferecido dois programas de crédito rural para estimular o plantio de florestas (MELO, 2002).

Estimativas indicam que em 2005, somente o PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar e o PROPFLORA – Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas desembolsaram cerca de R\$ 51 milhões para a atividade de florestas plantadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2006).

No ano de 2005 foram plantados, entre reformas e novas áreas, 553 mil ha, de acordo com levantamento realizado pelo Programa Nacional de Florestas, que considerou as seguintes fontes de informações: instituições estaduais de extensão e pesquisa, empresas florestais, associações de reposição florestal, além de dados sobre comercialização de sementes e mudas dos principais viveiros existentes nos estados. Desse total, cerca de 130 mil ha (23,6%) originaram-se de programas de fomento florestal, coordenados por diferentes empresas, entidades e instituições em pequenas e médias propriedades e 422 mil ha (76,4%) de plantios próprios (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2006). A Tabela 5 mostra as áreas de reflorestamento em 2005, por região:

Tabela 5 - Área de reforma e plantio, por região e estado, de espécies florestais madeiras (em ha) – 2005.

Região	Estado	Plantio Próprio	Fomento	Total
Sul (23%)	SC	20.100	19.900	40.000
	PR	42.350	11.650	54.000
	RS	30.700	4.300	35.000
	Subtotal	93.150	35.850	129.000
Sudeste (48%)	MG	128.150	31.850	160.000
	SP	61.400	18.100	79.500
	ES	15.100	9.900	26.000
	RJ	-	2.500	2.500
	Subtotal	204.150	60.850	268.000
Centro-Oeste (7%)	MS	15.000	10.000	25.000
	MT	7.550	450	8.000
	GO	5.000		5.000
	Subtotal	27.550	10.450	38.000
Norte (6%)	AP	17.000		17.000
	PA	5.500		5.500
	RR	3.500		3.500
	TO	4.500		4.500
	Subtotal	30.500		30.500
Nordeste (16%)	BA	53.404	21.596	75.000
	MA	8.500		8.500
	PE	2.000		2.000
	PI	2.000		2.000
	Subtotal	65.904	21.596	87.500
100%	Total	422.754	130.246	553.000

Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura (2006)

Na questão do reflorestamento, os Estados que mais se destacam em áreas plantadas de pinus são o Paraná, Santa Catarina, Bahia e São Paulo; juntos esses estados somam aproximadamente 73% do total plantado.

As espécies de pinus mais plantadas no estado de São Paulo são *P. elliottii* (68.590 ha, 43,3%). *P. oocarpa* (12.209 ha, 7,7%) e *P. caribaea* var. *hondurensis* (9.637 ha, 6,1%). Espécies não identificadas (51.555 ha, 2,5%) constituem o restante, sendo muito provavelmente de *P. elliottii* e *P. taeda* (KRONKA et al., 2002).

A madeira de pinus é considerada de baixa resistência mecânica e durabilidade natural; entretanto, apresenta alta permeabilidade a produtos preservativos e uma vez tratada de maneira adequada, pode ter vida útil bastante prolongada, dependendo do produto e processo de tratamento.

A durabilidade da madeira tratada é descrita por Barillari (2002), que relata resultados obtidos da avaliação de estacas de pinus (*Pinus elliottii* Engl. var. *elliottii*, o *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis*, B & G., o *Pinus oocarpa* Shied e o *Pinus kesiya* Royle ex Gordon) tratados com CCA tipos A,B e C e CCB após 21 anos de instalação em campo de apodrecimento em Mogi-Guaçu – SP:

- a) a vida-média estimada para a madeira com pior desempenho é da ordem de 30 anos;
- b) a durabilidade natural da madeira de Pinus sem tratamento preservante e em contato direto com o solo é inferior a dois anos;
- c) o nível de retenção influenciou na durabilidade das estacas, sendo que o melhor desempenho está associado às retenções mais altas;
- d) considerando os produtos isoladamente, a madeira tratada com CCB apresentou desempenho inferior ao da madeira tratada com CCA tipos A, B e C.

O uso de pinus na construção civil tem aumentado, sendo utilizado em produtos de maior valor agregado, como vigas laminadas e coladas, o que proporciona estruturas mais leves.

Outra característica do tratamento preservativo da madeira é o incremento nas suas características físicas e mecânicas.

Pinheiro e Lahr (2002) relatam experimentos em que as propriedades mecânicas de madeiras tratadas com outros produtos preservativos sob pressão tiveram pouco ou nenhum incremento. Entretanto, estudaram, nas espécies de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, a influência do tratamento com CCA e CCB nas propriedades mecânicas da madeira. Os resultados mostraram incremento nessas propriedades, tanto para madeiras tratadas com CCA quanto para madeiras tratadas com CCB. Foram obtidos resultados relevantes para a relação entre a resistência na compressão paralela da madeira sem preservação e da madeira tratada, principalmente com referência ao *Pinus elliottii*. Nesta espécie, para o tratamento realizado com CCA, o acréscimo na resistência foi de 17% (para retenção em torno de 10 kg/m³), enquanto o produto CCB (retenção em torno de 40 kg/m³) levou a aumento de 55%. Para o Eucalipto, atingiu-se acréscimo de 6% para a madeira preservada com CCA e CCB, para retenções médias em torno de 10,2 kg/m³ e 41 kg/m³, respectivamente.

Atualmente, o eucalipto, que é a espécie mais utilizada no setor de preservação de madeiras, tem sido usado na forma roliça na produção de postes, moirões, cruzetas e casas de alto padrão (tipo *log homes*), onde o alburno, que compreende a porção permeável da madeira, é totalmente impregnado com produtos preservativos.

Entretanto, o cerne das espécies de eucalipto é impermeável, o que torna a madeira susceptível ao ataque de fungos e insetos em condições agressivas de exposição. Um desafio para o setor é a busca de produtos capazes de conferir durabilidade ao cerne, viabilizando, dessa forma totalmente a madeira de eucalipto.

3.6 A Questão Ambiental do Uso de Preservativos de Madeira

A mídia, nos Estados Unidos, tem voltado sua atenção para questões ambientais envolvendo produtos que contenham arsênio em sua composição. O foco da discussão está na possível perda de arsênio para o ambiente, em casos em que a madeira fica exposta antes da completa fixação dos ingredientes ativos ou na emissão durante a vida útil da peça, através de lixiviação, e ainda, pela questão da disposição dos resíduos (BRAZOLIN; ROMAGNANO e SILVA, 2003).

Considerações públicas e regulamentações têm resultado em restrições ao uso de CCA em países como Japão, Indonésia, Suécia e Alemanha. Nos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency – EPA anunciou decisão voluntária das indústrias em cessar o uso de madeira tratada com CCA em aplicação residencial em meados de 2003, ou seja, “playgrounds”, deques e cercas de casas. O uso para utilidades, em indústrias e na agricultura, não foi afetado. A EPA concluiu que as madeiras já tratadas em uso em residências e estocadas não oferecem riscos ao público. A medida foi de caráter preventivo, adotada também em função da pressão da mídia americana (UNIVERSITY CORAL GABLES, 2002).

Atualmente, a indústria de preservação de madeiras, principalmente nos Estados Unidos, é considerada em transição, pois novos produtos estão sendo estudados como alternativas ao CCA. Entretanto, a severidade das legislações observada na maioria dos países e as pressões ambientais impostas à indústria de madeira preservada têm sido grandes, implicando numa estrutura de custos elevada e uma competitividade ameaçada por custos adicionais de controles ambientais ou produtos alternativos mais caros (ANDERSON e WALDIE, 1985 apud MORAES e BACHA, 1996).

Uma alternativa possível e ambientalmente mais segura seria o CCB (apesar da presença do cromo), ou produtos à base de boratos, muito utilizados em países exportadores de madeira. São incolores, inodoros, de baixo custo e baixa toxicidade para mamíferos. Entretanto, sua principal desvantagem é a baixa retenção, não viabilizando seu uso para madeiras utilizadas em ambientes úmidos (BRAND, ANZALDO e MORESCHI, 2006).

Na Eslovênia, o CCA foi proibido há mais de 20 anos e o CCB tem sido apontado como produto alternativo (POHLEVEN; HUMAR, 2001).

A questão da lixiviação do boro, principalmente na formulação salina do CCB precisa ser melhor estudada, para que a fixação dos elementos na madeira fique esclarecida, pois este é um aspecto que gera controvérsias, principalmente entre os fabricantes de CCA e CCB.

O aumento da preocupação com as questões ambientais e de saúde dos operadores de processos de tratamento preservativo e dos consumidores de madeira tratada tem

gerado a necessidade de desenvolvimento de novos produtos (BRAND; ANZALDO e MORESCHI, 2006).

A demanda mundial por biocidas cresce anualmente a 5,6% desde 2006 (FREEDONIA GROUP, 2004). Aliado ao crescimento da demanda, as regiões mais desenvolvidas do mundo estão cada vez mais sob legislações mais severas, com restrições ou até proibições de determinados produtos. Em áreas menos desenvolvidas, os regulamentos são menos restritivos (FREEDONIA GROUP, 2004).

O desenvolvimento de métodos que permitam uma avaliação mais rápida dos novos produtos químicos ao invés de testes de campo que são muito demorados e a obtenção de produtos com baixa toxicidade com baixo impacto ambiental, são alguns dos fatores fundamentais que devem ser considerados para o sucesso técnico, econômico e ambiental de novos produtos preservativos de madeira (STRATEGIS, 2004).

De forma geral, o desenvolvimento de pesquisas sobre preservativos de madeira está uma fase crucial, sendo necessário seu direcionamento para a análise de produtos com menores danos ambientais. Porém, apesar da eficiência comprovada de algumas alternativas ambientalmente corretas para o tratamento de madeiras, informações sobre sua viabilidade econômica são difíceis de serem encontradas (BRAND, ANZALDO e MORESCHI, 2006).

Vários novos produtos livres de cromo e arsênio foram introduzidos em várias partes do mundo, na tentativa de substituir o CCA. São produtos à base de etanolamina de cobre, um co-biocida orgânico com baixa toxicidade para mamíferos. Também o quaternário de cobre amoniacal (ACQ) e o cobre azole (CBA), que são usados na Europa, Japão e Estados Unidos. Porém, ainda são consideravelmente mais caros que o CCA (FREEMAN et al., 2003).

3.7 Resíduos de Madeira Tratada

A utilização de madeira tratada gera resíduos que devem ser coletados, separados e dispostos de maneira adequada, como qualquer outro resíduo industrial.

A norma brasileira para classificação de resíduos sólidos – NBR 10004:2004 tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto à sua periculosidade, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Duas categorias são descritas, de acordo com os potenciais riscos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004 a): Resíduos Classe I – Perigosos e Resíduos Classe II – Não-perigosos. Esta última classe é ainda subdividida em Resíduos Não-inertes, Classe II A e Resíduos Inertes – Classe II B.

O resíduo de madeira tratada só poderá ser considerado perigoso se for disposto de maneira inadequada e os elementos químicos oriundos do preservativo utilizado apresentarem-se em altas concentrações. De acordo com a NBR 10004, o limite para arsênio é 1,0 mg/L e para cromo é 5,0 mg/L. Para cobre e boro não são definidos os limites de concentração que podem estar presentes no resíduo.

Esses elementos devem ser quantificados a princípio em ensaios de lixiviação, previstos na norma NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos (ABNT, 2004 b). Esta norma fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados como Classe I e Classe II.

Entretanto, muitos países já têm destino certo para os resíduos de madeira tratada, conforme é mostrado no Quadro 2.

País	Destino final dos resíduos de madeira tratada
Austrália	Aterro; recuperação e reutilização
Canadá	Aterro; incineração e reutilização
França	Valorização energética e aterro
Alemanha	Reutilização regulamentada para madeira tratada; triagem e incineração; valorização energética e aterro
Japão	Incineração regulamentada
Holanda	Depende do fluxo de resíduos; aterro; valorização energética (incluindo exportação) e reutilização
Portugal	Aterro; incineração e reutilização
Suíça	Incineração regulamentada
Suécia	Valorização energética; incineração e aterro
EUA	Aterro e incineração como resíduo perigoso

Quadro 2 – Destino final dos resíduos de madeira tratada retirada de serviço em diferentes países

Fonte: Organization for Economic Co-operation and Development (2000)

Na Austrália e nos Estados Unidos, um pequeno volume de peças de madeira tratada pode ser descartado junto com resíduos domésticos, dependendo principalmente da dimensão das peças. Os resíduos de empresas usuárias de madeira tratada e indústrias são controlados pelas autoridades locais e descartados apropriadamente (UNIVERSITY CORAL GABLES, 2002; COOKSON, 2002, apud BRAZOLIN; ROMAGNANO e SILVA, 2003).

Em Portugal, foi feita uma estimativa da produção de resíduos de madeira tratada, de modo a se estabelecer um plano de gerenciamento de resíduos. De acordo com este levantamento, em 2010 serão produzidas cerca de 23 mil toneladas de resíduos de madeira tratada retirada de serviço e, em 2022, essa quantidade atingirá aproximadamente 59 mil toneladas (GOMES; RIBEIRO e LOBO, 2004).

Algumas técnicas têm sido propostas, em outros países, para disposição de resíduos, principalmente de madeira tratada com CCA (COOPER e FERROZ, 1999)

São exemplos, a queima da madeira tratada em incineradores (NURMI, 1996) ou fornos de cimento (BERNARDIN, 1995); reuso da madeira tratada, na fabricação de painéis

OSB (*Oriented Strand Board*); compósitos como madeira-cimento (HUANG; COOPER, 1999); uso de métodos biológicos para descontaminação da madeira tratada (BURGSTALLER; SCHINNER, 1993); extração química do CCA da madeira (KAZI; COOPER, 1998), para posterior disposição ou reuso. Técnicas como estas, entretanto estão ainda bem longe da realidade brasileira. A solução considerada mais prática nos Estados Unidos, por exemplo, é a incineração, porém com o inconveniente de que resíduos com cromo e arsênio apresentam problemas na queima, pois os metais pesados não são destruídos, permanecendo nas cinzas.

Entretanto, durante a queima, o arsênio, que é classificado como não-metal, pode se volatilizar e, para evitar sua emissão para o ar, são necessários equipamentos específicos para controle da poluição (UNIVERSITY CORAL GABLES, 2002).

Diante deste cenário, Romagnano e Brazolin (2002) apresentam sugestões para minimizar o problema de resíduos de madeira tratada, com medidas a serem adotadas antes e depois do tratamento. Dentre elas, destacam-se:

- a) que se deve seguir as especificações técnicas e normas que estabelecem a composição dos produtos preservativos, os métodos e os parâmetros de tratamento industrial;
- b) que se devem adotar os procedimentos adequados de secagem da madeira antes do tratamento para permitir penetração e retenção adequadas e aumentar a vida útil das peças;
- c) que o processo de tratamento deve ser adequado à condição de uso relacionada à agressividade biológica;
- d) que se deve atentar que o aumento da retenção acima dos níveis necessários e normalizados apenas aumenta a quantidade de lixiviáveis da madeira e não traz nenhum ganho em termo de durabilidade do material. De maneira similar, o retratamento da madeira que não atingiu os parâmetros de retenção e penetração exigidos pelas normas, aumenta o potencial de lixiviação dos contaminantes;

- e) exigir que a madeira tratada seja adequadamente acondicionada para que as reações de fixação do produto ocorram de forma adequada. Essas reações tornam o produto insolúvel na água;
- f) que a seleção de madeira livre de resíduos na superfície reduz as emissões para o meio ambiente. A prática de pós-tratamento para acondicionamento pode minimizar o problema;
- g) que a adoção de controle de qualidade da madeira preservada deve garantir os níveis de retenção e penetração, para que a vida útil seja adequada às condições de uso;
- h) que a madeira deve ser cortada e aparelhada nas dimensões finais de uso antes de receber o tratamento, de modo a evitar a geração de resíduos sólidos contendo produtos químicos;
- i) que a possível lixiviação de produtos químicos pode ser minimizada com a aplicação na madeira de acabamentos superficiais, tais como tintas, vernizes e stains com resinas hidrorrepelentes;
- j) que os usuários de madeira tratada devem ser informados das características dos produtos e das alternativas de utilização, descarte e riscos ambientais;
- k) que as normas técnicas e procedimentos técnicos devem ser amplamente divulgados.

3.8 Dados Toxicológicos do Cromo e Arsênio

As informações a seguir foram extraídas do Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2001).

O cromo ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 100 mg/kg. Na maioria dos solos ocorre em baixas concentrações, de 2 a 60 mg/kg. Na água, o teor natural é baixo, entre 0,001 a 0,01 mg/L.

O uso primário do cromo como metal é na produção de ligas que são usadas na fabricação do aço inox e outros produtos especializados. Os cromitos são primeiramente convertidos em dicromato de sódio e depois usados na fabricação de ácido crômico, pigmentos e agentes tânicos para couro. A produção mundial na década de 1980 foi de 11,2 milhões de toneladas métricas anuais.

A concentração de cromo em plantas aquáticas é geralmente baixa, menor que 5 mg/kg do peso seco. Perto de fontes de poluição, os resíduos aumentam para 50 mg/kg do peso seco.

A principal via de exposição da população ao cromo, em geral, é a ingestão de alimentos e água, enquanto que no trabalho, a exposição ocupacional se dá por inalação; também podem ocorrer dermatites por contato com a pele. Os compostos de Cr^{6+} são mais tóxicos aos humanos do que o Cr^{3+} . A exposição aguda ao Cr^{6+} produz náuseas, diarreias, danos ao fígado e rim, hemorragias internas, dermatites e problemas respiratórios, enquanto que a exposição aguda ao Cr^{3+} raramente reflete em efeitos tóxicos. No caso de inalação (exposição ocupacional) podem ocorrer irritações do trato respiratório, ulceração ou perfurações no septo nasal.

Muitos países usam o padrão de potabilidade recomendado pela OMS – Organização Mundial de Saúde, de 0,05 mg/L, neste caso assumindo que o Cr^{6+} é a espécie dominante. A EPA desenvolveu padrão menos restritivo de 0,12 mg/L, que foi derivado com base na ingestão crônica de Cr^{3+} e Cr^{6+} .

O arsênio é um elemento que ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 2 a 5 mg/kg, principalmente como complexos de sulfitos e óxidos. Os principais usos estão em inseticidas, rodenticidas, dissecante de plantas, detergentes e nas indústrias farmacêutica e têxtil. A produção na década de 1980 foi de 45×10^3 toneladas métricas anuais.

Efeitos agudos e subagudos de arsênio inorgânico podem envolver diversos órgãos incluindo os sistemas respiratórios, gastrointestinal, cardiovascular nervoso e pele. Baixos níveis de ingestão (1 a 10 mg/L) em grandes períodos podem levar a um quadro de toxicidade aguda.

Intoxicação crônica resulta em desordens neurológicas, fraqueza muscular, perda de apetite, náusea, hiperpigmentação e queratoses. Exposição ocupacional são reportadas em fundições, onde o alto nível de arsênio inorgânico encontrado no ar pode provocar lesões nas membranas mucosas do sistema respiratório, incluindo perfurações do septo nasal.

Há substancial evidência epidemiológica de carcinogenicidade respiratória em associação com exposição a arsênio inorgânico durante a fabricação de inseticidas.

Muitos países adotam como padrão de potabilidade a recomendação da OMS – Organização Mundial da Saúde, de 0,05 mg/L. Este padrão não considera o potencial de efeitos carcinogênicos, projetando um possível aumento de 2,5 casos de câncer de pele por milhão de habitantes.

4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho, optou-se somente pelos preservativos hidrossolúveis utilizados atualmente no Brasil.

O produto preservativo CCA-C, bem como o CCB de base óxida foram fornecidos por empresas ligadas ao setor. Já o CCB de base salina foi produzido no Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais do IPT.

Os corpos-de-prova de pinus (*Pinus elliotti*) foram adquiridos de empresa do setor madeireiro, tendo sido retirados de peças já serradas, com aproximadamente 2 metros de comprimento.

Os corpos-de-prova de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) foram fornecidos por uma usina de preservação de madeiras, tendo sido retirados de toras de eucalipto de tamanhos variados, porém todos constituídos somente de alburno.

Os corpos-de-prova das espécies utilizadas tinham as dimensões de (45 x 2 x 5)cm. Esta medida foi adequada para que coubessem 10 corpos-de-prova por tratamento na autoclave.

Visando atingir os objetivos deste trabalho, os ensaios efetuados seguiram normas estabelecidas, que serão indicadas na descrição dos ensaios.

4.1 Determinação do Teor de Umidade dos Corpos-de-prova

A medição dos teores de umidade dos corpos-de-prova foi realizada utilizando-se medidor de umidade da marca BES BOLLMANN, modelo H-DI 3.3 (Foto 1).

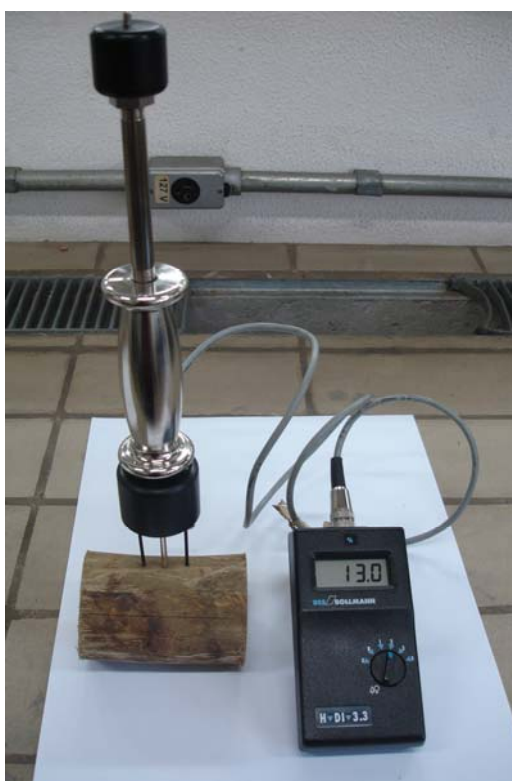


Foto 1 – Medidor de umidade da madeira
Fonte: a autora, 2007

Esta medição baseia-se na condutividade elétrica da água presente na madeira e é a maneira expedita que as usinas de preservação utilizam para checar o teor de umidade das peças a serem tratadas.

Caso algum corpo-de-prova apresentasse teor de umidade superior a 25%, haveria necessidade de climatizá-lo. Os teores de umidade dos corpos-de-prova de pinus e eucalipto são listados no Anexo B – Tabelas 17 e 18.

4.2 Determinação dos Teores de Ingredientes Ativos dos Preservativos

Os preservativos utilizados neste trabalho foram analisados visando a determinação dos teores de ingredientes ativos, bem como seu balanceamento químico.

Esta etapa foi necessária, pois é a partir do teor de ingredientes ativos que se calcula a massa de preservativo utilizada para o preparo das soluções de tratamento. Produtos com balanceamento químico fora das especificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984) foram descartados.

Os ensaios foram realizados segundo método do Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais do IPT, que consiste basicamente numa diluição na presença de ácido sulfúrico e uma agente oxidante, com posterior quantificação dos elementos por espectrofotometria de absorção atômica e os resultados encontram-se no Anexo C – Tabelas 19 e 21.

4.3 Preparo das Soluções de Tratamento

Com base nas análises químicas dos preservativos, foram preparadas soluções de CCA-C, CCB base salina e CCB base óxida nas concentrações de 1, 2 e 4% de ingredientes ativos, esperando-se atingir as retenções estabelecidas nas normas brasileiras para produtos de madeira preservada, conforme descrito na Introdução.

4.4 Tratamento dos Corpos-de-prova

Optou-se por tratar os corpos-de-prova em laboratório para garantir as mesmas condições de tratamento para as espécies e produtos. Caso esses corpos-de-prova fossem adquiridos já tratados, teriam que ser de diferentes usinas de tratamento, o que não garantiria homogeneidade dos processos de tratamento.

Os tratamentos foram realizados em usina piloto (Foto 2) no Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais do IPT, nas seguintes condições de vácuo e pressão (processo célula cheia):

- Vácuo inicial: 620 mmHg por 30 minutos
- Pressão: 1,18 MPa (12 kgf/cm²) por 2 horas
- Vácuo final: 620 mmHg por 30 minutos

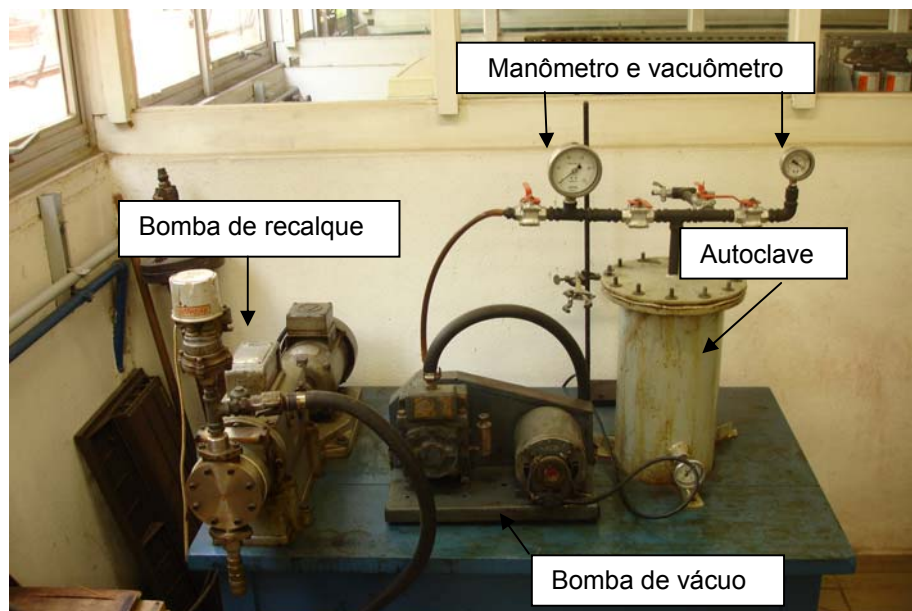


Foto 2 – Usina piloto
Fonte: a autora, 2007

Os corpos-de-prova utilizados nos tratamentos foram distribuídos da seguinte forma, de acordo com o teor de ingrediente ativo (IA) de cada solução de trabalho:

Pinus:

- P1 a P10 tratados com solução de CCA-C a 1% de IA
- P11 a P20 tratados com solução de CCA-C a 2% de IA
- P21 a P30 tratados com solução de CCA-C a 4% de IA

- P41 a P50 tratados com solução de CCB base salina a 1% de IA
- P51 a P60 tratados com solução de CCB base salina a 2% de IA
- P61 a P70 tratados com solução de CCB base salina a 4% de IA

- P81 a P90 tratados com solução de CCB base óxida a 1% de IA
- P91 a P100 tratados com solução de CCB base óxida a 2% de IA
- P101 a P110 tratados com solução de CCB base óxida a 4% de IA

Eucalipto:

- E1 a E10 tratados com solução de CCA-C a 1% de IA
- E11 a E20 tratados com solução de CCA-C a 2% de IA
- E21 a E30 tratados com solução de CCA-C a 4% de IA

- E41 a E50 tratados com solução de CCB base salina a 1% de IA
- E51 a E60 tratados com solução de CCB base salina a 2% de IA
- E61 a E70 tratados com solução de CCB base salina a 4% de IA

- E81 a E90 tratados com solução de CCB base óxida a 1% de IA
- E91 a E100 tratados com solução de CCB base óxida a 2% de IA
- E101 a E110 tratados com solução de CCB base óxida a 4% de IA

4.5 Determinação da Retenção dos Produtos Preservativos

Após o término dos tratamentos, esperou-se um tempo mínimo de fixação dos produtos preservativos de 20 dias (a NBR 7511- Dormente de madeira – requisitos e métodos de ensaio estabelece um período mínimo de 15 dias). Após esse período, foi retirado do centro de cada corpo-de-prova um segmento de aproximadamente 20 cm.

Para as amostras de pinus, eventuais nós (parte inicial de um galho remanescente) foram removidos.

Após a determinação da densidade (Anexo A, Tabelas 15 e 16), o material foi moído em moinho de facas (partículas em torno de 5mm) para a realização dos ensaios de retenção e lixiviação.

Foi feita a determinação da retenção de CCA-C, CCB de base salina e CCB de base óxida em cada amostra, de acordo com o método interno do Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais, que consiste em uma adaptação das seguintes normas: AWWA – AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION – Standard A11-93 – Standard Methods for Analysis of Treated Wood and Treating Solutions by Atomic Absorption Spectroscopy (AWPA, 2000 e 2007), e BSI – BRITISH STANDARDS – BS 5666:Part 3:1991 – Methods of Analysis of Wood Preservatives and Treated Timber (BSI, 1991 e 1999).

Essa adaptação consiste na extração dos elementos utilizando uma mistura de ácido sulfúrico 5N e peróxido de hidrogênio 100 volumes, em banho-maria a 80°C por duas horas. O material obtido é filtrado e diluído para posterior quantificação dos elementos Cu, Cr, As e B por espectrofotometria de absorção atômica.

O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro de absorção atômica modelo SPECTRAA 200, marca Varian.

Os resultados das determinações das retenções encontram-se listados no Anexo D - Tabelas 23, 24 e 25 para pinus, e no anexo E - Tabelas 26, 27 e 28 para eucalipto.

4.6 Ensaios de Lixiviação

De acordo com a NBR 10005:2004, inicialmente foi feito o teste para a determinação da solução de extração, que consiste em medir o pH de uma solução feita com o material a ser lixiviado e água deionizada.

Como o pH obtido foi maior que 5,0, adicionou-se 3,5 mL de ácido clorídrico 0,1N e aqueceu-se a 50°C por 10 minutos. O pH foi lido novamente, e por estar abaixo de 5,0, utilizou-se a solução de extração preparada adicionando-se 5,7 mL de ácido acético glacial e 64,3 mL de hidróxido de sódio 1N em água deionizada, completando-se o volume para um litro.

Foi utilizada uma massa menor que 100 gramas - pois era necessário haver sobra de amostra caso fosse necessário uma repetição do ensaio - da madeira moída e a quantidade de solução de extração correspondeu a 20 vezes a massa de amostra utilizada.

A amostra e a solução de extração foram colocadas em garrafas do tipo PET, e acondicionadas em agitador rotatório de frascos (Foto 3) numa rotação de (30 ± 2) rpm por um período médio de 17 horas.



Foto 3 – Agitador rotatório de frascos
Fonte: a autora, 2007

Após esse período, as amostras foram filtradas e acondicionadas em frascos de polietileno para posterior determinação das concentrações dos elementos.

4.7 Determinação dos Teores de Cobre, Cromo, Arsênio e Boro no Material Lixiviado

As determinações foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica segundo uma adaptação das normas, citadas no item 4.5.

Os resultados das determinações das concentrações dos elementos Cu, Cr, As e B no material lixiviado de pinus e eucalipto podem ser vistos, respectivamente, no Anexo F, Tabelas 29, 30 e 31 e Anexo G, Tabelas 32, 33 e 34.

5 RESULTADOS

5.1 Lixiviação de Pinus e Eucalipto

Os teores médios de cobre, cromo, arsênio e boro determinados no extrato lixiviado, bem como as médias de retenção são listados na Tabela 6, que segue:

Tabela 6 – Comparação entre retenção média e concentração dos elementos no material lixiviado

	Pinus			Eucalipto				
	Retenção média (kg/m ³)	Teores dos elementos no material lixiviado (mg/L)			Retenção média (kg/m ³)	Teores dos elementos no material lixiviado (mg/L)		
		Cu	Cr	As		Cu	Cr	As
CCA-C 1%	5,4	22,2	7,0	20,4	5,4	20,4	8,4	16,5
CCA-C 2%	12,0	29,6	8,7	22,8	11,3	29,6	10,7	23,6
CCA-C 4%	26,8	35,2	9,0	30,1	23,0	36,6	14,7	32,0
		Cu	Cr	B		Cu	Cr	B
CBB salino 1%	5,1	35,6	17,5	30,2	5,0	36,1	16,3	30,6
CBB salino 2%	10,8	44,8	36,9	56,7	9,7	43,9	27,2	39,1
CBB salino 4%	26,3	57,7	40,3	65,8	22,5	58,0	36,4	53,4
		Cu	Cr	B		Cu	Cr	B
CCB óxido 1%	6,2	34,3	13,1	29,6	5,5	31,3	13,6	27,4
CCB óxido 2%	10,7	46,9	30,5	50,3	10,3	44,0	28,6	39,2
CCB óxido 4%	24,1	56,6	34,8	64,6	23,2	53,7	35,5	60,1

Nota-se que os valores médios das retenções de CCA-C, CCB de base salina e CCB de base óxida, todos a 1%, tanto para pinus quanto para eucalipto, apresentam teores de As e Cr excedendo os valores limites já citados no item 3.7 – Resíduos de madeira tratada.

Os resultados apresentados na Tabela 6 estão demonstrados graficamente como segue. Os Gráficos 1 a 6 mostram a relação entre as retenções médias obtidas em cada tratamento e as concentrações médias dos elementos Cu, Cr, As e B presentes no material lixiviado.

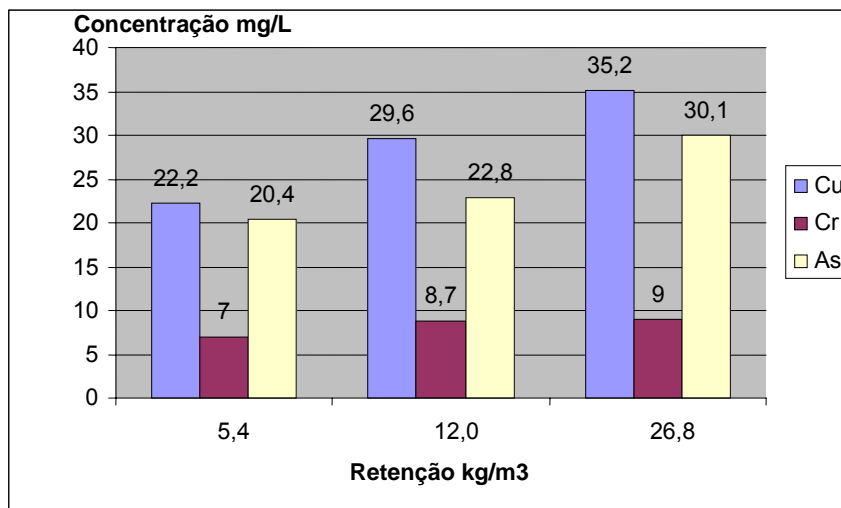


Gráfico 1 – Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCA-C

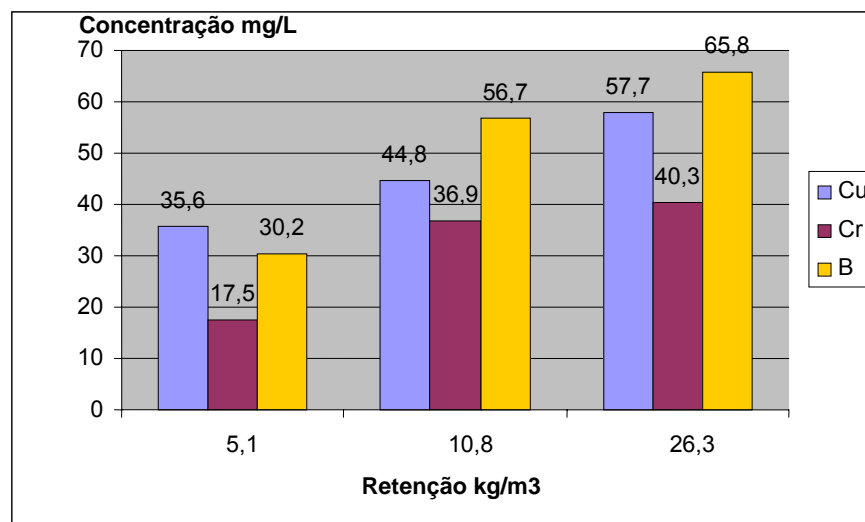


Gráfico 2 – Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCB de base salina

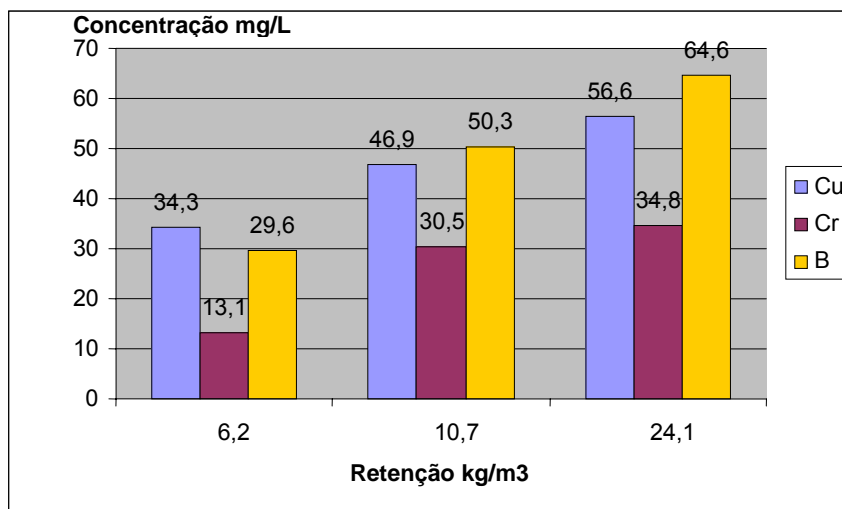


Gráfico 3 – Retenção x lixiviação – pinus tratado com CCB de base óxida

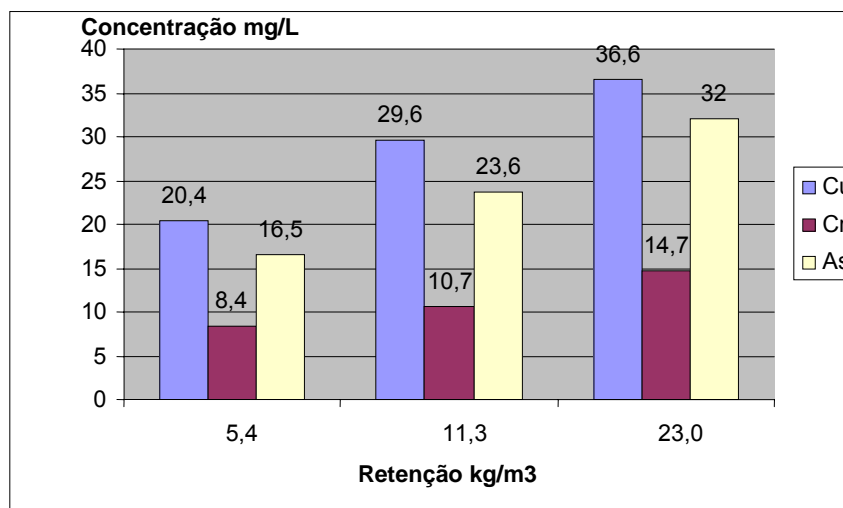


Gráfico 4 – Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCA-C

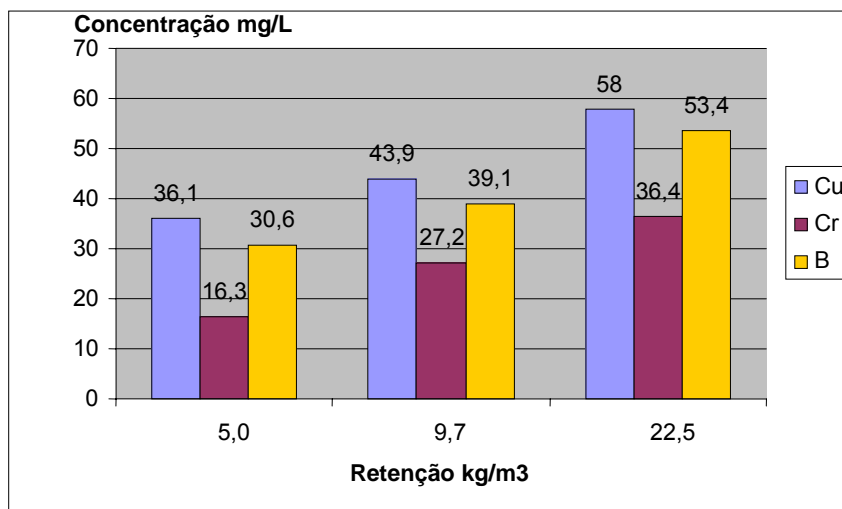


Gráfico 5 – Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCB de base salina

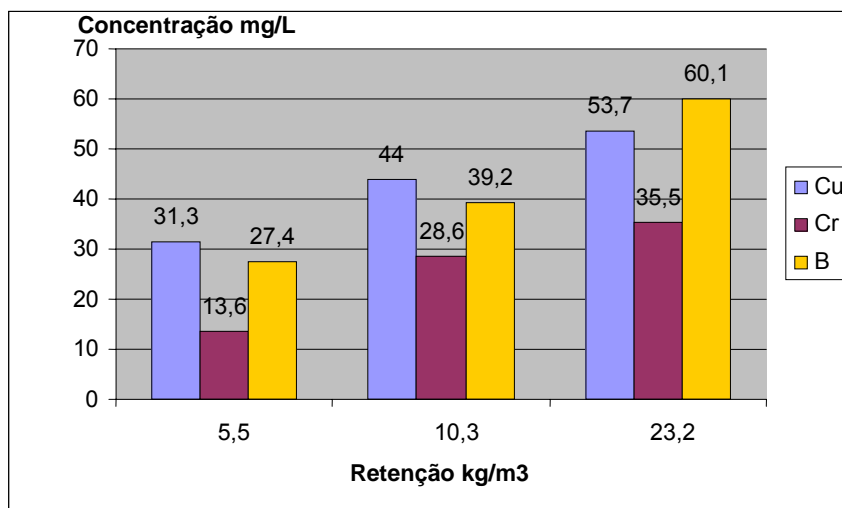


Gráfico 6 – Retenção x lixiviação – eucalipto tratado com CCB de base óxida

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As hipóteses que foram testadas tanto para o pinus como para o eucalipto, o foram para cada concentração de solução utilizada, portanto, considerando as dez amostras de cada tratamento individualmente.

As seguintes hipóteses foram testadas e aplicam-se tanto para o caso do pinus como para o eucalipto.

H₀: Não há associação entre as retenções e as concentrações de cobre, cromo, arsênio e boro lixiviadas, para as retenções obtidas com a utilização das soluções a 1%, 2% e 4%.

H₁: Há uma tendência crescente, entre as retenções obtidas com a utilização das soluções a 1%, 2% e 4%. e as concentrações de cobre, cromo, arsênio e boro lixiviadas.

Para a verificação da hipótese aplicou-se análise de regressão simples tendo como variável independente a concentração de cada elemento (mg/L) e como variável dependente, a retenção (kg/m³) obtida com as soluções de tratamento a 1%, 2% e 4%. Adotou-se a probabilidade de significância de 5%.

A Tabela 7 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do pinus tratado com CCA-C.

Tabela 7 – Análise de regressão – pinus tratado com CCA-C

Retenção	Cu		Cr		As	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	0,043	0,841 ns	0,212	0,658 ns	0,000	0,987 ns
Solução 2%	2,093	0,186 ns	2,393	0,116 ns	9,878	0,014 *
Solução 4%	0,776	0,404 ns	1,090	0,327 ns	1,090	0,327 ns

ns = não significante a 5%; * = significante a 5%; P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do pinus tratado com o preservativo CCA-C, houve significância apenas para o arsênio para a retenção obtida com a solução a 2%. Para as demais combinações, retenção x concentração do componente do preservativo, a análise foi não significante. Portanto, nestes casos, não se rejeita a

hipótese H_0 ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e arsênio com os valores de retenção para os diferentes tratamentos.

A Tabela 8 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do pinus tratado com CCB de base salina.

Tabela 8 - Análise de regressão – pinus tratado com CCB de base salina

Retenção	Cu		Cr		B	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	0,129	0,729 ns	0,088	0,774 ns	0,330	0,581 ns
Solução 2%	2,943	0,125 ns	0,816	0,393 ns	0,294	0,603 ns
Solução 4%	0,602	0,460 ns	0,040	0,846 ns	0,015	0,906 ns

ns = não significante a 5%, P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do pinus tratado com o preservativo CCB de base salina que não houve significância para nenhuma das combinações retenção x concentração dos componentes do preservativo. Portanto, não se rejeita a hipótese H_0 ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e boro com os valores de retenção obtidos em todos os tratamentos.

A Tabela 9 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do pinus tratado com CCB de base óxida.

Tabela 9 - Análise de regressão – pinus tratado com CCB de base óxida

Retenção	Cu		Cr		B	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	0,186	0,678 ns	0,439	0,526 ns	1,877	0,208 ns
Solução 2%	1,843	0,212 ns	1,579	0,244 ns	4,157	0,076 ns
Solução 4%	0,602	0,460 ns	0,000	0,990 ns	0,473	0,511 ns

ns = não significante a 5%, P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do pinus tratado com o preservativo CCB de base óxida que não houve significância para nenhuma das combinações retenção x concentração dos componentes do preservativo. Portanto, não se rejeita a hipótese H_0

ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e boro com os valores de retenção obtidos em todos os tratamentos.

A Tabela 10 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do eucalipto tratado com CCA-C.

Tabela 10 - Análise de regressão – eucalipto tratado com CCA-C

Retenção	Cu		Cr		As	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	3,580	0,095 ns	0,313	0,591 ns	0,022	0,885 ns
Solução 2%	6,466	0,035 *	0,119	0,739 ns	2,417	0,159 ns
Solução 4%	0,005	0,947 ns	0,031	0,864 ns	0,528	0,488 ns

ns = não significativa a 5%, * = significativa a 5%; P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do eucalipto tratado com o preservativo CCA-C, houve significância apenas para o cobre para a retenção obtida com a solução a 2%. Para as demais combinações retenção x concentração do componente do preservativo, a análise foi não significativa. Portanto, nestes casos, não se rejeita a hipótese H_0 ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e arsênio e os valores de retenção obtidos em todos os tratamentos.

A Tabela 11 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do eucalipto tratado com CCB de base salina.

Tabela 11 - Análise de regressão – Eucalipto tratado com CCB de base salina

Retenção	Cu		Cr		B	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	1,004	0,346 ns	0,019	0,894 ns	0,892	0,373 ns
Solução 2%	3,349	0,105 ns	0,001	0,980 ns	0,022	0,885 ns
Solução 4%	0,411	0,539 ns	0,003	0,959 ns	0,443	0,524 ns

ns = não significativa a 5%. P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do eucalipto tratado com o preservativo CCB de base salina que não houve significância para nenhuma das combinações

retenção x concentração dos componentes do preservativo. Portanto, não se rejeita a hipótese H_0 ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e boro com os valores de retenção obtidos em todos os tratamentos.

A Tabela 12 mostra a análise de regressão para as concentrações obtidas do eucalipto tratado com CCB de base óxida.

Tabela 12 - Análise de regressão – Eucalipto tratado com CCB de base óxida

Retenção	Cu		Cr		B	
	F	P	F	P	F	P
Solução 1%	0,213	0,657 ns	3,100	0,116 ns	0,323	0,585 ns
Solução 2%	0,014	0,907 ns	0,235	0,641 ns	0,752	0,411 ns
Solução 4%	0,085	0,778 ns	0,954	0,003 ns	2,515	0,151 ns

ns = não significante a 5%. P = probabilidade, F = estatística F

Observa-se na tabela acima que para o caso do eucalipto tratado com o preservativo CCB de base óxida que não houve significância para nenhuma das combinações retenção x concentração dos componentes do preservativo. Portanto, não se rejeita a hipótese H_0 ou seja, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que não há associação entre as quantidades lixiviadas de cobre, cromo e boro com os valores de retenção obtidos em todos os tratamentos.

A Tabela 13 mostra a comparação entre as concentrações médias obtidas de As para as espécies pinus e eucalipto.

Tabela 13 – Média da concentração de As no material lixiviado

Espécie	As (mg/L)
Pinus	24,4
Eucalipto	24,0

As médias de concentração de As no material lixiviado para as duas espécies não têm variação significativa.

Já em relação à concentração de cromo, comparando-se os três produtos utilizados em cada espécie, observa-se a média para o CCA-C bem menor em relação aos dois tipos de CCB, e menor para o pinus em relação ao eucalipto – Tabela 14.

Comparando-se os dois tipos de CCB, observa-se menor média da concentração de Cr no lixiviado de eucalipto tratado com CCB de base salina e menor concentração de Cr no lixiviado de pinus tratado com CCB de base óxida.

Tabela 14 – Média da concentração de Cr no material lixiviado

Produto	Cr – pinus (mg/L)	Cr – eucalipto (mg/L)
CCA-C	8,2	11,3
CCB de base salina	31,6	26,6
CCB de base óxida	26,1	25,9

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de cromo e arsênio nas soluções obtidas nos ensaios de lixiviação (Tabela 6) alcançaram um valor mínimo de 7,0 mg/L para cromo e 20,4 mg/L para arsênio no caso do pinus e 8,4 mg/L para cromo e 16,5 mg/L para arsênio no caso do eucalipto.

Estes valores são superiores aos limites estabelecidos pela NBR 10.004:2004 – Classificação de resíduos sólidos, que são 5,0 mg/L para o cromo e 1,0 mg/L para o arsênio. Os limites para cobre o boro não são estabelecidos pela norma.

Portanto, os resíduos de madeira tratada com CCA-C, CCB de base salina ou CCB de base óxida, são considerados perigosos, classe I, independente da espécie de madeira aqui utilizada.

As concentrações obtidas no material lixiviado também são superiores aos limites estabelecidos pela OMS para potabilidade, que são 0,05 mg/L para o cromo e 0,01 mg/L para o arsênio (OMS, 2005) e pelos limites estabelecidos pela CETESB, que são 0,05mg/L para o cromo e 0,01 mg/L para o arsênio (CETESB, 2001). Isto caracteriza o resíduo perigoso para a saúde humana em caso de contaminação da água, quando o mesmo for descartado de forma inadequada.

Embora retenções maiores tenham apresentado concentrações maiores de cromo e arsênio no material lixiviado, observa-se nas Tabelas 7 a 12 que houve significância nos testes de correlação entre retenção e concentração no material lixiviado apenas para o preservativo CCA-C.

No caso do pinus, a significância ocorreu para o elemento cobre, nas retenções obtidas no tratamento com solução a 2%. Já no caso do eucalipto, a significância ocorreu para o tratamento com a mesma concentração de solução, no entanto para o elemento arsênio.

Para os demais casos, os testes de correlação foram todos insignificantes. Portanto, não foi possível estabelecer uma correlação entre retenção e lixiviação para todos os tratamentos e produtos utilizados.

Os Gráficos 1 a 6 mostram o aumento da concentração dos elementos no material lixiviado em função do aumento da retenção, o que seria de se esperar, pois aumentando-se a concentração da solução utilizada no tratamento, aumenta-se a concentração do produto na madeira, ou seja, há mais produto disponível para ser lixiviado.

Comparando-se o desempenho do CCA-C nas duas espécies de madeira utilizadas neste experimento, pode-se observar que a concentração média de arsênio, 24,4 mg/L para pinus e 24,0 mg/L para eucalipto, não apresentou variação significativa entre as espécies.

Tanto o pinus quanto o eucalipto tratados com CCA-C, geram resíduo perigoso, em função da lixiviação do arsênio.

Comparando-se o desempenho dos três preservativos, CCA-C, CCB de base salina e CCB de base óxida, verifica-se que a média de concentração do cromo no material lixiviado foi menor para madeiras tratadas com CCA-C, do que para madeiras tratadas com qualquer um dos dois tipos de CCB, segundo indicado na Tabela 14.

Para a madeira de pinus, a concentração do cromo originado do CCA-C foi 40% da concentração originada pelo CCB de base salina e 53% da concentração originada pelo CCB de base óxida, considerando-se a solução com 1% de ingredientes ativos.

Para a madeira de eucalipto, a concentração de cromo originada pelo CCA-C representou 51% da concentração obtida do CCB de base salina e 62% da concentração obtida do CCB de base óxida, considerando-se a solução com 1% de ingredientes ativos.

Isto significa que o cromo lixivia bem menos em madeiras tratadas com CCA-C do que em madeiras tratadas com qualquer um dos dois tipos de CCB.

Os preservativos CCB de base salina e de base óxida geraram concentrações menores de cromo nos corpo-de-prova de eucalipto. Características anatômicas da espécie podem ter contribuído para este resultado.

Comparando-se os dois tipos de CCB entre si, nota-se que o CCB de base óxida apresentou concentrações menores de Cr no material lixiviado ligeiramente menores que o CCB de base salina para as duas espécies utilizadas, mostrando uma leve vantagem do primeiro.

De modo geral, os dois tipos de CCB mostraram-se ambientalmente mais seguros do que o CCA-C, por apresentarem apenas um elemento contaminante, o cromo, que por sua vez, possui limites de concentração permitidos superiores aos limites estabelecidos para o arsênio, presente no CCA-C.

8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora o resíduo de madeira tratada com preservativos hidrossolúveis tenha sido considerado classe I – perigoso, madeiras com porções de cerne, impermeável ao tratamento, e o estado de sanidade biológica que se encontra a madeira eventualmente descartada, podem contribuir para uma menor concentração dos elementos contaminantes no material lixiviado, influenciando na caracterização do resíduo.

Assim, é imprescindível que as empresas que possuam um passivo ambiental constituído de madeira tratada retirada de serviço, façam os ensaios para a caracterização do resíduo classificando-o quanto à sua periculosidade, antes da disposição ou descarte deste material.

Deve-se considerar que a classificação do resíduo como perigoso, por si só, não deve impedir o estudo de alternativas para utilização da madeira tratada. Esta classificação orienta em relação aos cuidados que devem ser tomados no gerenciamento do resíduo. A

falta destes cuidados pode inviabilizar a utilização da madeira tratada, caso não se possa garantir a segurança do trabalhador, do consumidor final ou do meio ambiente.

Finalmente, os resultados aqui obtidos levam à recomendação de que sejam realizados estudos sobre a viabilidade técnico-econômica para distintas alternativas de reuso de madeira tratada que tenha sido retirada de serviço, de modo a prolongar sua vida útil e minimizar os eventuais impactos ambientais causados por este tipo de resíduo.

9 REFERÊNCIAS

AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. **Standards**. AWPA, 2007. 1 CD-ROM

AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. **Standard A11-93**: Standard Methods for Analysis of Treated Wood and Treating Solutions by Atomic Absorption Spectroscopy. Birmingham: AWPA, 2000. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004 a. 22p.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6236**: Madeiras para carretéis para fios, cordoalhas e cabos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004 d. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7511**: Dormente de madeira – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005 d. 11p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9480**: Mourões de madeira preservada para cercas. Rio de Janeiro: ABNT, 1986, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico**: ano base 2005. Brasília: ABRAF, 2006. 80p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRESERVADORES DE MADEIRA. **Comunicação pessoal**. São Paulo: ABPM, 2007.

BACHA, C.J.C; BARROS, A.L.M. Reflorestamento no Brasil: evolução crescente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, n.66, p.191-203, dez. 2004.

- BARILLARI, C.T. **Durabilidade da madeira do gênero *pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento.** 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.
- BERNARDIN, G. St. Lawrence Cement In: LIFE CYCLE ASSESMENT WORKSHOP CANADIAN INSTITUTE OF TREATED WOOD, 1995. **Proceedings...**Ontario: CITW, 1995.
- BLANCHETE, R.A. A review of microbial deterioration found in archeological Wood from different environments. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v 46, p 189-204, dez. 2000.
- BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J.,C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. Perspectivas de pesquisa e atualização., **Floresta**, v36, n1, p.129-130, jan/abr. 2006.
- BRASIL. Lei nº 4.797 de 20 de outubro de 1965. Torna obrigatório pelas empresas concessionárias de serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 out. 1965.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 58.016 de 18 de março de 1966. Regulamenta o dispositivo na lei nº 4797 de 20 de outubro de 1966 e dá nova redação. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 1966.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 61.248 de 30 de agosto de 1967. Dá nova redação ao artigo 4º do decreto nº 58.016 de 18 de março de 1967. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 ago. 1967.
- BRASIL. Portaria nº 2748-DN de 16 de março de 1972. Dá competência às D.E. do IBAMA para fiscalizar a indústria de preservação de madeiras, registro de empresas de tratamento e de fabricantes de preservativos bem como dos seus produtos químicos dentre outras atribuições. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 mar. 1972.
- BRAZOLIN, S. Produtos preservativos – eficiência e inovações. In: SEMINÁRIO DE PRESERVATIVOS DE MADEIRA, 1., 2005, Brasília. **Anais...**Brasília: Ibama, 2005.
- BRAZOLIN, S.; ROMAGNANO, L.F.T DI.; SILVA, G.A. Madeira preservada no ambiente construído: cenário atual e tendências. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1282.** Wood preservatives: guidance on choice, use and application. London, 1999.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **BS 5666: Part 3:** Methods of Analysis of Wood Preservatives and Treated Timber. London; BS, 1991.

BROOKS, K.M. Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PHA) from new and used railway crossties in to ballast and adjacent wetland environments. In: AMERICAN WOOD-PRESERVER'S ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2000, San Francisco.

Proceedings... Birmingham: AWPA, 2000. 37p.

BROWN, C.J.; EATON, R.A. **Leaching of copper, chromium and arsenic from CCA treated Scots pine exposed in sea water.** THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION. Stockholm, 2000. 18p.

BURGSTALLER, W.; SCHINNER, F. Leaching of metal with fungi. **Journal of Biotechnology**, n. 27, p.91-116, 1993.

CAVALCANTE, M.S. Implantação e desenvolvimento da indústria de preservação de madeiras no Brasil. **Pesquisa & Desenvolvimento**, v 14. p.1-57, 1983.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2001. 247p.

COSTA, A.F.; COSTA, L.R. da; KLOTH, L.; LUQUEZ, L.P.. Diagnóstico no setor de preservação de madeiras no Brasil, no período de 1999 a 2000. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba, PR. **Anais...**Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002.

COOPER, P.A.; FERROZ, K.M Recovery and reuse of chromated copper arsenate (CCA) wood preservative from CCA treated wastes. In: ANNUAL CANADIAN WOOD PRESERVATION ASSOCIATION CONFERENCE, 20., 1999, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: CWPA, 1999. 25-26p.

FREEDONIA GROUP, **World biocides to 2006 – Market size, Market share, demand forecast and Sales.** Disponível em <<http://www.freedoniagroup.com>. Acesso em 17 dez. 2006.

FREEMAN, M.H.; SHUPE, T.F.; VLOSKY, R.P.; BARNES, H.M. Past, present and future of the wood preservation industry. **Forest Products Journal**, n.10, p 8-15, 2003.

FREITAS, V.P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de *Pinus* após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento.** 2002. 65p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

GERALDO, F.C. **Madeira Preservada na Construção Civil.** Curitiba, [s.n.], 2002.

GERALDO, F.C. Produção, comercialização e uso de preservativos de madeira no Brasil. In: SEMINÁRIO DE PRESERVATIVOS DE MADEIRA, 1., 2005, Brasília. **Anais...**Brasília: Ibama, 2005.

GOMES, H.; RIBEIRO, A.B.; LOBO, V. **Modelo de otimização da localização de unidades de remediação de resíduos de madeira tratada**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2004.

GRASSÉ, P.P. *Termitologia Anatomie-Physiologie-Biologie-Systematique des Termites*. Masson, Paris, v.3, 1986.

GUO, A.; COOPER, P.A; UNG, Y.T.; RUDDICK, J.N.R. Comparison of fixation rates of earlywood, latewood, sapwood, and heartwood of CCA-treated douglas-fir, southern pine, and eastern larch. **Forest Products Journal**, v. 52, p.77-80, 2002.

HUANG, C.; COOPER, P.A. **Wood cement composites using spent CCA treated wood**. Stockholm: International Research Group on Wood Preservation, 1999. (Document IRG/WP 99-50126).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Informação geral no site**. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 23 set. 2005.

JANEZIC, T.S; COOPER, P.A; UNG, Y.T. Chromated copper arsenate preservative treatment of north american hardwoods. **Holzforschung**, v.54, p.77-80, 2000.

JANKOWSKY, I.P. Fundamentos da preservação de madeiras. **Documentos Florestais**, Piracicaba, p.1-12, jun. 1990.

KAZI, K.M.F.; COOPER, P.A. Solvent extraction of CCA-C from out-of-service wood. Stockholm: **International Research Group on Wood Preservation**, 1998. (Document IRG/WP 98-50107).

KIM, Y.S.; SING, A.P. Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: A Review. **IAWA Journal**, v.21, p. 135-155, 2000.

KLOCK, U. Química da Madeira. Paraná, UFPR/SCA/DETF, s.d. Apostila do Curso de Engenharia Florestal Madeireira. Disponível em <<http://www.fimes.edu.br/professores/gildomar/gildomar/conteudo/celulose%20e%20papel/quimica%20da%20madeira.doc>>. Acesso em 19 dez. 2006.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M; YWANE, M.S.S; LIMA, L.M.P.R.; KANASHIRO, M.N.; SHIDA, C.N.; PIRES, A.S.; MONTEIRO, C.H.B.; PONTINHAS, A.A.S.; BARRADAS, A.M.F.; BORGIO, S.C.; VILELA, F.E.S.P. **Mapeamento e quantificação do reflorestamento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal / Secretaria do Meio Ambiente, 2002.

LELIS, A.T. Insetos deterioradores de madeira no meio urbano. **Série técnica IPEF**, v.13, n.33, p.81-90, mar. 2000.

LELIS, A.T. (Coord.); BRAZOLIN, S. ; FERNANDES, J.L.G.; LOPEZ, G.A.C.; MONTEIRO, M.B.B.; ZENID, G.J.. **Biodeterioração de madeiras em edificações, manual**. São Paulo: IPT, 2001.

LEPAGE, E.S. (Coord); OLIVEIRA, A.M.F. ; LELIS, A.T. ; LOPEZ, G.A. ; CHIMELO, J.P. ; OLIVEIRA, L.C.S ; CAÑEDO, M.D. ; CAVALCANTE, M.S. ; IELO, P.K.Y. ; ZANOTTO, P.A. ; MILANO, S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. 2.v.

MELO, B. Madeira Renovada. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, out. 2002. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br>>. Acesso em: 27 mar.2006.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Secretaria do Desenvolvimento da Produção. Fórum de Competitividade. **Cadeia Produtiva de Madeira e Móveis**. Brasília: MDIC, 2001.

MORAES, M.A.F.D. **A indústria da madeira preservada no Brasil**: um estudo de sua organização industrial. 1996, 173p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

MORAES, M.A.F.D.; BACHA, C.J.C. Indústria de madeira preservada. **Preços Agrícolas**, v.10, n.115, maio, 1996.

MORESCHI, J.C. **Produtos preservantes de madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologias Rurais / Universidade Federal do Paraná., 2005. 32p.

NEW SOUTH WALES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental compliance report**. Wood preservation industry. Part B – Review of practice and regulation. Sydney, 2003. 23p.

NURMI, A.J. **Disposal of CCA treated waste wood by combustion**: an industrial scale trial. In: INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION. 1996. (Document IRG/WP 96-50068)

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Report of the OECD workshop on environmental exposure assesment to wood preservatives**. Bergirate, Italy: OECD, 2000. 74p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Guías para la calidad del agua potable**: Recomendaciones, v1, Genebra, 2004. 96p.

PINHEIRO, R.V.; LAHR, F.A.R. Influência da preservação química em propriedades mecânicas de espécies de reflorestamento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2002.

POHLEVEN, F; HUMAR, M. **Recycling of CCA or CCB treated waste wood**. Ljublijana, University of Ljublijana / Department of Wood Science & Technology. 2001. 5p.

PRESTON, A.F. Wood preservation – trends of today that will influence the industry tomorrow. **Forest Products Journal**, n. 50, p. 12-19, 2000.

RICHARDSON, B.A. **Wood preservation**. the construction Press. Lancaster: 1978. 575p.

ROMAGNANO, L.F.T. DI ; BRAZOLIN, S. Gerenciamento de Resíduos de Madeira Preservada. In: GLOBAL CONFERENCE: CONSTRUINDO UM MUNDO SUSTENTÁVEL, 2002, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ABEPPOLAR; IUAPPA, 2002. 1CD

SILVA, E.G; BANDEIRA, A.G. Cupins de solo na Mata Atlântica, João Pessoa, Paraíba: distribuição vertical e abundância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE FITOSSANITARISTAS, 6., Salvador, 1997. **Resumos...**Salvador: SEB/EMBRAPA-CNPMF, 1997.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS, 2006. 1 CD

STRATEGIS. **Preservative technology**. Disponível em <<http://strategis.ie.gs.ca/epic/internet/infi-if.nsf/en/fb01463e.html>> Acesso em 16 dez. 2006

THOMPSON, W.S; KOCK, P. **Preservative treatment of hardwoods**: a review. New Orleans: USDA/FS/SFES, 1981. 53p.

UNIVERSITY CORAL GABLES. Department of Environmental Engineering Sciences. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering.. **Management of discarded treated wood products: a resource guide for Generators**. Flórida: UCG, 2002. (Final draft)

WILKINSON, J.G. **Industrial timber preservation**. London: Associated Business Press, 1979. 532p.

WILLIAMS, G.R; CORNFIELD, J.A; ANDERSON, D.G. Waterbased fixed preservatives. In: THOMPSON, R. (Ed) **The chemistry of wood preservation**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1991. p 323

ANEXOS

Anexo A – Densidade dos corpos-de-prova de pinus

Tabela 15 –Densidade dos corpos-de-prova de pinus

Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)	Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)	Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)
P1	0,45	P41	0,51	P81	0,52
P2	0,47	P42	0,51	P82	0,54
P3	0,51	P43	0,50	P83	0,55
P4	0,53	P44	0,43	P84	0,45
P5	0,49	P45	0,47	P85	0,47
P6	0,56	P46	0,56	P86	0,49
P7	0,43	P47	0,45	P87	0,47
P8	0,47	P48	0,53	P88	0,52
P9	0,56	P49	0,42	P89	0,51
P10	0,58	P50	0,44	P90	0,53
P11	0,43	P51	0,47	P91	0,45
P12	0,44	P52	0,49	P92	0,46
P13	0,50	P53	0,52	P93	0,42
P14	0,53	P54	0,54	P94	0,41
P15	0,49	P55	0,55	P95	0,54
P16	0,51	P56	0,50	P96	0,52
P17	0,50	P57	0,49	P97	0,51
P18	0,42	P58	0,51	P98	0,50
P19	0,43	P59	0,52	P99	0,59
P20	0,48	P60	0,56	P100	0,58
P21	0,53	P61	0,49	P101	0,57
P22	0,54	P62	0,47	P102	0,42
P23	0,57	P63	0,52	P103	0,43
P24	0,49	P64	0,58	P104	0,46
P25	0,46	P65	0,47	P105	0,48
P26	0,53	P66	0,48	P106	0,47
P27	0,54	P67	0,53	P107	0,54
P28	0,54	P68	0,55	P108	0,55
P29	0,41	P69	0,56	P109	0,56
P30	0,52	P70	0,51	P110	0,57

Fonte: a autora (2006)

Média: 0,50 g/cm³Desvio padrão: 0,05 g/cm³

Anexo A – Densidade dos corpos-de-prova de pinus

Tabela 16 –Densidade dos corpos-de-prova de eucalipto

Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)	Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)	Corpo-de-prova	Densidade (g/cm ³)
E1	0,75	E41	0,99	E81	0,85
E2	0,78	E42	0,98	E82	0,96
E3	0,82	E43	0,79	E83	0,90
E4	0,86	E44	0,82	E84	0,89
E5	0,95	E45	0,85	E85	0,87
E6	0,98	E46	0,84	E86	0,86
E7	0,85	E47	0,92	E87	0,85
E8	0,95	E48	0,90	E88	0,91
E9	0,93	E49	0,91	E89	0,95
E10	0,84	E50	0,86	E90	0,98
E11	0,89	E51	0,97	E91	0,98
E12	0,76	E52	0,99	E92	0,85
E13	0,84	E53	0,89	E93	0,86
E14	0,83	E54	0,88	E94	0,94
E15	0,91	E55	0,91	E95	0,91
E16	0,92	E56	0,86	E96	0,86
E17	0,90	E57	0,87	E97	0,87
E18	0,82	E58	0,90	E98	0,85
E19	0,89	E59	0,93	E99	0,95
E20	0,85	E60	0,98	E100	0,92
E21	0,79	E61	0,97	E101	0,98
E22	0,81	E62	0,79	E102	0,91
E23	0,80	E63	0,78	E103	0,89
E24	0,90	E64	0,94	E104	0,88
E25	0,92	E65	0,89	E105	0,91
E26	0,96	E66	0,89	E106	0,90
E27	0,85	E67	0,82	E107	0,86
E28	0,88	E68	0,91	E108	0,87
E29	0,91	E69	0,97	E109	0,91
E30	0,76	E70	0,86	E110	0,90

Fonte: a autora (2006)

Média: 0,89 g/cm³Desvio padrão: 0,06 g/cm³

Anexo B – Teor de umidade dos corpos-de-prova de pinus

Tabela 17 – Teor de umidade dos corpos-de-prova de pinus

Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca
P1	12,8	P31	15,6	P61	14,6	P91	14,6
P2	14,2	P32	16,8	P62	14,6	P92	12,6
P3	15,7	P33	14,6	P63	12,3	P93	18,6
P4	14,3	P34	13,7	P64	13,6	P94	14,2
P5	12,9	P35	12,5	P65	14,6	P95	15,6
P6	13,1	P36	12,9	P66	12,3	P96	14,6
P7	13,5	P37	13,8	P67	14,9	P97	15,6
P8	12,9	P38	14,6	P68	15,8	P98	15,8
P9	12,7	P39	15,8	P69	17,5	P99	14,3
P10	13,3	P40	12,6	P70	16,9	P100	16,7
P11	13,4	P41	13,9	P71	14,7	P101	16,9
P12	14,0	P42	14,6	P72	16,9	P102	14,5
P13	13,2	P43	14,2	P73	14,8	P103	13,8
P14	13,3	P44	13,8	P74	16,5	P104	12,7
P15	12,8	P45	13,7	P75	15,8	P105	17,2
P16	12,1	P46	15,6	P76	14,3	P106	12,5
P17	15,8	P47	14,6	P77	13,6	P107	13,6
P18	14,6	P48	16,2	P78	14,8	P108	14,8
P19	13,5	P49	14,9	P79	14,9	P109	13,6
P20	12,8	P50	14,6	P80	13,9	P110	14,9
P21	13,5	P51	15,7	P81	14,8	P111	15,6
P22	14,2	P52	13,6	P82	16,7	P112	14,7
P23	15,6	P53	14,8	P83	14,3	P113	15,2
P24	14,9	P54	12,6	P84	13,6	P114	14,9
P25	13,8	P55	13,9	P85	14,8	P115	12,3
P26	12,6	P56	15,6	P86	15,6	P116	14,5
P27	12,5	P57	16,1	P87	13,8	P117	12,6
P28	14,8	P58	15,9	P88	12,8	P118	13,7
P29	15,2	P59	14,6	P89	17,9	P119	13,2
P30	15,9	P60	14,3	P90	17,3	P120	14,5

Fonte: a autora (2006)

Média: 14,5%

Desvio padrão: 1,36%

Anexo B – Teor de umidade dos corpo-de-prova de eucalipto

Tabela 18 – Teor de umidade dos corpos-de-prova de eucalipto

Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca	Corpo-de-prova	Umidade (%) base seca
E1	22,1	E31	13,2	E61	17,2	E91	17,2
E2	19,3	E32	14,5	E62	16,5	E92	15,6
E3	18,7	E33	16,7	E63	17,6	E93	14,5
E4	19,6	E34	18,9	E64	16,9	E94	16,3
E5	19,5	E35	16,5	E65	18,4	E95	18,9
E6	21,3	E36	18,3	E66	13,6	E96	13,6
E7	20,1	E37	17,2	E67	12,4	E97	18,4
E8	19,6	E38	18,7	E68	15,6	E98	19,6
E9	17,6	E39	14,3	E69	12,3	E99	16,8
E10	16,4	E40	19,5	E70	14,6	E100	16,8
E11	17,2	E41	15,3	E71	13,5	E101	14,6
E12	18,1	E42	17,2	E72	17,2	E102	18,7
E13	19,4	E43	15,3	E73	16,5	E103	17,6
E14	16,5	E44	14,2	E74	18,6	E104	18,6
E15	14,3	E45	13,8	E75	18,9	E105	14,8
E16	15,7	E46	14,6	E76	17,5	E106	16,8
E17	18,6	E47	16,8	E77	16,8	E107	19,2
E18	17,2	E48	19,2	E78	16,8	E108	14,5
E19	15,3	E49	14,5	E79	17,2	E109	13,8
E20	19,4	E50	13,6	E80	13,6	E110	18,6
E21	17,2	E51	18,6	E81	17,5	E111	15,9
E22	18,9	E52	19,4	E82	15,6	E112	18,6
E23	18,3	E53	14,3	E83	16,7	E113	16,5
E24	18,9	E54	15,3	E84	15,6	E114	14,5
E25	17,2	E55	16,7	E85	15,3	E115	16,2
E26	18,6	E56	17,5	E86	12,1	E116	15,6
E27	16,8	E57	13,6	E87	13,2	E117	16,7
E28	17,5	E58	15,6	E88	12,3	E118	16,8
E29	18,6	E59	17,2	E89	14,6	E119	16,8
E30	19,1	E60	18,9	E90	15,8	E120	15,6

Fonte: a autora (2006)

Média: 16,8%

Desvio padrão: 2,4%

ANEXO C – Teores de ingredientes ativos dos produtos preservativos

Tabela 19 – Teores de ingredientes ativos no CCA-C

AMOSTRA	INGREDIENTES ATIVOS (% em massa)						
	CuO		CrO ₃		As ₂ O ₅		TOTAL
CCA	10,6	(17,8)	28,8	(48,2)	20,3	(34,0)	59,7

Os limites de balanceamento estabelecidos pela norma NBR 8456 da ABNT para o preservante CCA são:

Tabela 20 – Limites de balanceamento para o CCA-C

	MÍNIMO (%)	MÁXIMO (%)
CuO	17,0	21,0
CrO ₃	44,5	50,5
As ₂ O ₅	30,0	38,0

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984)

Tabela 21 – Teores de ingredientes ativos nos dois tipos de CCB

AMOSTRA	INGREDIENTES ATIVOS (% em massa)						
	CuO		CrO ₃		B		TOTAL
CCB salino	11,1	(26,4)	26,7	(63,4)	4,3	(10,2)	42,1
CCB óxido	12,6	(25,3)	31,9	(64,2)	5,2	(10,5)	49,7

Os valores entre parênteses mostrados nas Tabelas 11 e 12 referem-se ao balanceamento dos ingredientes ativos na amostra, expresso em %.

Os limites de balanceamento estabelecidos pela norma NBR 8456 da ABNT para o preservativo CCB são:

Tabela 22 – Limites de balanceamento para o CCB

	MÍNIMO (%)	MÁXIMO (%)
CuO	24,7	27,3
CrO ₃	60,3	66,7
B	10,0	11,0

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984)

ANEXO D – Retenção de CCA-C em pinus

Tabela 23 – Retenção de CCA-C em pinus

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅	TOTAL
P1	1,0	3,1	2,1	6,2
P2	0,8	2,2	1,5	4,5
P3	1,0	2,8	1,9	5,7
P4	1,1	3,3	2,2	6,6
P5	1,0	2,6	1,9	5,5
P6	1,0	2,8	1,9	5,7
P7	0,8	2,4	1,6	4,8
P8	1,0	2,7	1,9	5,6
P9	0,9	2,2	1,5	4,6
P10	0,9	2,2	1,6	4,7
P11	1,9	5,7	4,0	11,6
P12	1,8	5,5	3,9	11,2
P13	2,3	7,0	5,2	14,5
P14	2,1	6,1	4,4	12,6
P15	2,0	5,9	4,4	12,3
P16	1,9	5,7	4,0	11,6
P17	2,4	6,7	4,9	14,0
P18	1,8	5,1	3,8	10,7
P19	1,7	5,0	3,6	10,3
P20	1,9	5,4	3,9	11,2
P21	3,2	11,1	8,8	23,1
P22	5,0	16,7	13,3	35,0
P23	3,7	12,3	9,2	25,2
P24	4,4	14,0	10,1	28,5
P25	4,4	13,7	10,4	28,5
P26	3,7	12,7	10,0	26,4
P27	3,7	12,4	9,3	25,4
P28	3,7	12,8	9,9	26,4
P29	3,0	10,3	8,9	22,2
P30	3,6	13,0	10,2	26,8

ANEXO D – Retenção de CCB de base salina em pinus

Tabela 24 – Retenção de CCB de base salina em pinus

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	B	TOTAL
P41	1,2	3,4	0,6	5,2
P42	1,0	3,0	0,5	4,5
P43	1,6	3,5	0,6	5,7
P44	1,5	3,3	0,5	5,3
P45	1,3	3,1	0,5	4,9
P46	1,6	3,8	0,6	6,0
P47	1,0	2,9	0,4	4,3
P48	1,3	3,0	0,5	4,8
P49	1,2	2,8	0,5	4,5
P50	1,5	3,3	0,5	5,3
P51	2,5	6,2	1,0	9,7
P52	2,7	6,3	1,1	10,1
P53	3,0	7,1	1,2	11,3
P54	2,8	7,0	1,1	10,9
P55	2,8	6,1	0,9	9,8
P56	3,4	7,8	1,2	12,4
P57	2,8	6,8	1,1	10,7
P58	2,6	6,2	1,0	9,8
P59	2,9	7,4	1,1	11,4
P60	3,2	7,3	1,2	11,7
P61	6,1	14,5	2,5	23,1
P62	6,8	15,0	2,4	24,2
P63	7,5	17,0	2,8	27,3
P64	6,6	16,7	2,6	25,9
P65	6,7	17,2	2,8	26,7
P66	7,1	18,1	2,9	28,1
P67	6,6	16,3	2,7	25,6
P68	6,7	15,0	2,5	24,2
P69	7,7	18,3	2,7	28,7
P70	8,1	18,6	2,7	29,4

ANEXO D – Retenção de CCB de base óxida em pinus

Tabela 25 – Retenção de CCB de base óxida em pinus

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	B	TOTAL
P81	1,5	3,5	0,6	5,6
P82	1,7	3,6	0,7	6,0
P83	1,6	4,0	0,8	6,4
P84	1,8	4,5	0,7	7,0
P85	1,5	3,5	0,6	5,6
P86	1,7	3,8	0,6	6,1
P87	1,6	3,9	0,7	6,2
P88	1,7	4,0	0,8	6,5
P89	1,5	3,9	0,7	6,1
P90	1,6	3,8	0,7	6,1
P91	2,5	6,2	1,0	9,7
P92	2,7	6,9	1,2	10,8
P93	2,8	7,1	1,1	11,0
P94	2,3	6,8	1,2	10,3
P95	2,7	6,9	1,1	10,7
P96	2,8	7,0	1,3	11,1
P97	2,8	6,7	1,1	10,6
P98	3,0	7,3	1,2	11,5
P99	2,6	6,8	1,4	10,8
P100	2,4	6,7	1,6	10,7
P101	5,5	14,5	2,5	22,5
P102	6,2	15,2	2,4	23,8
P103	6,5	14,9	2,8	24,2
P104	6,5	13,7	2,7	22,9
P105	6,9	15,8	2,6	25,3
P106	5,9	16,1	2,5	24,5
P107	7,0	16,1	2,6	25,7
P108	6,4	14,8	2,9	24,1
P109	5,8	14,6	2,5	22,9
P110	6,1	15,6	3,0	24,7

ANEXO E – Retenção de CCA-C em eucalipto

Tabela 26 – Retenção de CCA-C em eucalipto

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅	TOTAL
E1	0,9	2,4	1,9	5,2
E2	0,9	2,3	2,0	5,2
E3	0,9	2,3	1,5	4,7
E4	0,8	2,3	1,9	5,0
E5	0,9	2,5	1,7	5,1
E6	1,1	3,1	2,0	6,2
E7	1,1	3,1	2,2	6,4
E8	0,9	2,6	1,9	5,4
E9	0,8	2,1	1,8	4,7
E10	1,1	2,9	2,4	6,4
E11	1,8	5,7	3,7	11,2
E12	2,0	5,2	4,1	11,3
E13	1,9	5,7	3,9	11,5
E14	1,7	4,9	3,5	10,1
E15	2,1	4,8	4,0	10,9
E16	2,2	6,1	4,1	12,4
E17	1,8	5,9	4,0	11,7
E18	1,9	5,6	3,9	11,4
E19	1,8	4,8	3,9	10,5
E20	2,2	5,5	4,0	11,7
E21	3,2	10,0	6,3	19,5
E22	4,0	9,2	7,5	20,7
E23	4,2	11,2	8,0	23,4
E24	3,9	10,7	7,9	22,5
E25	5,0	12,6	8,6	26,2
E26	4,1	12,4	7,9	24,4
E27	3,8	10,9	7,2	21,9
E28	4,3	11,3	8,1	23,7
E29	4,0	11,8	7,8	23,6
E30	4,0	12,0	7,9	23,9

ANEXO E – Retenção de CCB de base salina em eucalipto

Tabela 27 – Retenção de CCB de base salina em eucalipto

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	B	TOTAL
E41	1,2	3,2	0,6	5,0
E42	1,3	3,3	0,5	5,1
E43	1,2	3,1	0,6	4,9
E44	1,1	2,9	0,4	4,4
E45	1,3	3,4	0,6	5,3
E46	1,2	3,3	0,6	5,1
E47	1,1	2,8	0,5	4,4
E48	1,3	3,2	0,5	5,0
E49	1,3	3,4	0,7	5,4
E50	1,3	3,3	0,6	5,2
E51	2,3	6,2	1,0	9,5
E52	2,6	6,5	1,1	10,2
E53	2,7	5,9	0,9	9,5
E54	2,6	6,0	0,9	9,5
E55	3,0	7,0	1,2	11,2
E56	2,6	6,5	1,1	10,2
E57	2,5	5,9	0,9	9,3
E58	2,5	5,8	0,7	9,0
E59	2,6	6,1	0,8	9,5
E60	2,5	6,0	0,9	9,4
E61	5,9	13,5	2,5	21,9
E62	6,1	14,5	3,0	23,6
E63	5,8	13,9	2,1	21,8
E64	5,5	14,1	2,6	22,2
E65	6,0	14,0	2,4	22,4
E66	6,1	15,0	2,6	23,7
E67	5,9	14,3	2,5	22,7
E68	5,7	13,5	2,3	21,5
E69	6,0	13,9	2,5	22,4
E70	6,1	14,1	2,4	22,6

ANEXO E – Retenção de CCB de base óxida em eucalipto

Tabela 28 – Retenção de CCB de base óxida em eucalipto

AMOSTRA	RETENÇÃO DO INGREDIENTE ATIVO (kg/m ³)			
	CuO	CrO ₃	B	TOTAL
E81	1,4	3,5	0,6	5,5
E82	1,1	2,9	0,5	4,5
E83	1,2	3,4	0,6	5,2
E84	1,5	4,0	0,7	6,2
E85	1,4	3,9	0,6	5,9
E86	1,3	3,6	0,5	5,4
E87	1,2	3,2	0,6	5,0
E88	1,3	4,0	0,7	6,0
E89	1,3	4,2	0,6	6,1
E90	1,2	3,7	0,6	5,5
E91	2,5	6,5	1,0	10,0
E92	2,9	7,1	1,2	11,2
E93	2,8	6,7	1,1	10,6
E94	2,7	6,5	1,2	10,4
E95	2,5	6,5	1,2	10,2
E96	2,7	6,7	1,1	10,5
E97	2,6	6,4	1,0	10,0
E98	2,6	6,4	1,0	10,0
E99	2,4	6,3	1,2	9,9
E100	2,5	6,8	1,3	10,6
E101	5,9	14,5	2,4	22,8
E102	5,8	14,9	2,6	23,3
E103	5,9	13,9	2,8	22,6
E104	5,7	15,2	2,5	23,4
E105	6,0	15,0	2,4	23,4
E106	6,1	14,7	2,4	23,2
E107	6,2	14,9	2,1	23,2
E108	5,9	15,1	2,5	23,5
E109	5,8	15,2	2,3	23,3
E110	6,2	15,0	2,5	23,7

ANEXO F – Teores de Cu, Cr e As no material lixiviado - pinus

Tabela 29 - Teores dos elementos Cu, Cr e As no material lixiviado - pinus tratado com CCA-C

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	As
P1	20,16	6,48	17,40
P2	22,32	6,27	20,40
P3	21,18	5,64	18,90
P4	18,33	4,80	20,70
P5	16,17	6,57	16,50
P6	29,58	8,04	25,50
P7	14,37	5,22	15,00
P8	30,39	11,13	25,20
P9	31,05	10,74	25,20
P10	17,97	5,16	19,2
P11	29,88	7,26	22,20
P12	27,45	7,47	21,90
P13	32,82	10,44	26,40
P14	24,69	6,90	19,80
P15	30,93	9,45	22,20
P16	34,26	10,74	22,80
P17	32,94	10,32	28,20
P18	30,21	8,91	21,0
P19	27,27	8,52	22,20
P20	25,12	7,21	21,20
P21	36,24	9,45	30,30
P22	38,28	9,63	27,60
P23	37,02	9,72	32,40
P24	37,47	9,12	24,90
P25	38,52	9,78	28,20
P26	35,22	9,69	28,80
P27	34,92	8,46	27,60
P28	24,74	8,04	32,70
P29	34,14	8,07	31,20
P30	35,40	7,68	37,50

Fonte: a autora (2006)

ANEXO F – Teores de Cu, Cr e B no material lixiviado - pinus

Tabela 30 - Teores dos elementos Cu, Cr e B no material lixiviado - pinus tratado com CCB de base salina

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	B
P41	36,06	13,53	31,80
P42	28,83	8,04	29,40
P43	35,34	19,26	42,60
P44	36,12	18,93	29,40
P45	35,40	21,99	28,20
P46	30,84	12,63	23,40
P47	39,48	15,12	30,60
P48	41,82	31,14	34,20
P49	32,67	11,91	22,20
P50	39,81	22,23	30,60
P51	44,25	34,80	60,00
P52	45,48	53,76	69,30
P53	45,69	44,46	60,00
P54	43,17	34,56	38,70
P55	41,82	21,84	43,50
P56	45,75	50,31	63,60
P57	45,63	48,09	56,40
P58	44,88	24,27	51,20
P59	45,51	28,92	64,80
P60	45,35	27,81	49,50
P61	53,10	37,92	60,67
P62	60,00	42,54	71,46
P63	57,56	38,49	62,35
P64	64,75	43,25	73,52
P65	55,20	38,92	64,21
P66	55,36	39,43	66,24
P67	52,47	41,22	64,72
P68	62,83	43,75	69,56
P69	59,16	37,65	59,11
P70	56,23	39,42	66,61

Fonte: a autora (2006)

ANEXO F – Teores de Cu, Cr e B no material lixiviado - pinus

Tabela 31 - Teores dos elementos Cu, Cr e B no material lixiviado - pinus tratado com CCB de base óxida

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	B
P81	37,21	12,72	34,65
P82	35,37	11,09	27,95
P83	29,75	9,85	22,36
P84	36,84	13,15	25,97
P85	33,26	14,69	30,28
P86	36,86	15,12	36,87
P87	30,56	11,07	33,25
P88	31,57	12,63	29,87
P89	34,87	14,76	23,54
P90	37,12	16,12	31,69
P91	44,23	29,12	57,82
P92	45,68	30,23	49,89
P93	47,32	37,82	52,36
P94	39,68	25,23	54,62
P95	45,63	27,56	46,84
P96	47,32	29,65	55,63
P97	48,65	30,21	47,96
P98	47,86	32,35	43,58
P99	49,21	37,12	43,69
P100	53,12	25,61	50,23
P101	54,23	37,25	62,85
P102	56,87	36,57	63,78
P103	58,91	30,65	60,53
P104	59,62	36,78	71,23
P105	53,98	37,51	61,29
P106	54,31	38,94	65,45
P107	58,96	34,69	64,82
P108	59,51	39,12	68,46
P109	51,37	28,97	63,27
P110	58,31	27,62	64,25

Fonte: a autora (2006)

ANEXO G – Teores de Cu, Cr e As no material lixiviado - eucalipto

Tabela 32 - Teores dos elementos Cu, Cr e As no material lixiviado - eucalipto tratado com CCA-C

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	As
E1	22,13	6,48	13,25
E2	24,12	7,92	19,32
E3	19,86	8,36	20,02
E4	21,56	7,95	15,32
E5	19,87	8,12	16,74
E6	16,46	6,95	13,65
E7	20,02	9,87	19,87
E8	19,67	10,02	15,63
E9	21,63	11,13	14,63
E10	18,97	7,55	16,87
E11	27,82	9,85	22,32
E12	29,68	10,01	25,63
E13	33,84	7,85	24,98
E14	24,81	12,96	27,96
E15	29,97	9,07	19,87
E16	30,02	9,85	20,13
E17	31,56	13,45	23,67
E18	28,46	12,37	22,32
E19	27,63	10,15	23,95
E20	32,64	11,87	24,85
E21	37,56	13,25	30,36
E22	38,56	14,52	32,14
E23	39,46	12,36	31,52
E24	29,07	16,78	34,63
E25	36,12	15,42	33,26
E26	38,31	14,63	31,07
E27	35,15	16,78	29,97
E28	36,12	13,36	28,54
E29	38,16	16,78	31,25
E30	37,86	12,63	36,87

Fonte: a autora (2006)

ANEXO G – Teores de Cu, Cr e B no material lixiviado - eucalipto

Tabela 33 - Teores dos elementos Cu, Cr e B no material lixiviado - eucalipto tratado com CCB de base salina

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	B
E41	37,02	13,45	32,07
E42	35,12	14,52	34,32
E43	36,87	12,87	29,87
E44	32,16	11,96	30,12
E45	39,54	15,62	30,05
E46	36,45	16,87	31,24
E47	38,46	22,07	30,22
E48	36,54	19,87	33,45
E49	38,52	21,09	29,97
E50	30,09	14,87	24,56
E51	43,25	32,81	37,84
E52	44,18	29,84	36,82
E53	43,85	25,61	40,51
E54	39,07	27,12	47,12
E55	43,16	26,81	38,98
E56	44,68	26,87	39,97
E57	45,67	27,18	40,13
E58	46,84	22,84	37,62
E59	43,61	26,43	34,71
E60	44,78	26,67	37,65
E61	57,82	35,12	56,87
E62	58,95	27,86	53,68
E63	61,07	38,97	60,24
E64	59,82	38,12	58,97
E65	57,40	39,87	56,87
E66	58,63	36,45	49,55
E67	59,23	34,86	51,78
E68	57,22	40,12	53,68
E69	55,87	37,84	49,36
E70	54,12	34,56	43,21

Fonte: a autora (2006)

ANEXO G – Teores de Cu, Cr e B no material lixiviado - eucalipto

Tabela 34 - Teores dos elementos Cu, Cr e B no material lixiviado - eucalipto tratado com CCB de base óxida

Amostra	Teores mg/L		
	Cu	Cr	B
E81	29,84	12,07	27,12
E82	30,15	13,54	24,52
E83	31,63	13,69	29,15
E84	33,87	12,36	28,54
E85	25,16	17,56	27,16
E86	29,54	13,64	28,63
E87	31,08	15,12	27,63
E88	37,13	9,87	31,15
E89	29,36	13,87	22,05
E90	35,42	14,71	27,63
E91	47,12	26,12	43,12
E92	46,54	28,96	40,05
E93	43,18	26,32	39,16
E94	43,67	23,69	41,26
E95	39,26	20,05	34,69
E96	45,18	31,06	32,12
E97	43,31	29,84	41,36
E98	47,63	33,12	40,68
E99	39,87	29,87	42,36
E100	44,26	37,12	37,12
E101	52,36	24,65	59,82
E102	56,87	36,98	61,23
E103	54,32	35,12	63,84
E104	59,82	36,98	63,12
E105	43,35	29,25	60,85
E106	46,87	39,17	49,63
E107	52,36	40,01	57,12
E108	57,36	39,12	55,65
E109	57,12	36,18	62,38
E100	56,87	37,81	67,36

Fonte: a autora (2006)