



LORRAN DE SOUSA ARANTES

**EFEITO DO TRATAMENTO PRESERVATIVO
COM CCA-C NA ESTABILIDADE
DIMENSIONAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus***

LAVRAS – MG

2016

LORRAN DE SOUSA ARANTES

**EFEITO DO TRATAMENTO PRESERVATIVO COM CCA-C NA
ESTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para obtenção do título de mestre.

Orientador

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein

Coorientador

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

LAVRAS – MG

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Arantes, Lorrان de Sousa.

Efeito do tratamento preservativo com CCA-C na estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus* / Lorrان de Sousa Arantes. – Lavras : UFLA, 2016.

54 p.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Paulo Ricardo Gherardi Hein.

Bibliografia.

1. Retenção. 2. Madeira tratada. 3. Inchamento tangencial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

LORRAN DE SOUSA ARANTES

**EFEITO DO TRATAMENTO PRESERVATIVO COM CCA-C NA
ESTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para obtenção do título de mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2016.

Dra. Vássia Carvalho Soares IFMG

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva UFLA

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein

Orientador

LAVRAS – MG

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me orientar e iluminar, permitindo que mais esta etapa seja concluída em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade concedida.

Aos professores, colegas, técnicos e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, com ao quais aprendi muito.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein, pela orientação, paciência, conselhos e amizade.

À Esteio S.A., pelo fornecimento do material para realização deste trabalho.

Aos meus pais, pelo eterno carinho, incentivo, compreensão, apoio e dedicação.

À minha noiva e grande companheira Eliane, por tudo que já vivemos juntos.

Ao meu irmão Pablo, pela amizade e ajuda nos momentos de dificuldade.

Aos grandes amigos adquiridos neste longo percurso, contribuindo com alegria, felicidade e parceria.

RESUMO

Objetivou-se avaliar em que medida o tratamento preservativo com CCA-C (Arseniato de Cobre Cromatado tipo C) afeta a estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus* tratada em autoclave. Foram utilizados 14 moirões de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* selecionados em função da umidade da madeira. Após a seleção dos moirões e antes do tratamento preservativo, discos de 5 cm de espessura retirados das duas extremidades e um disco da parte central dos moirões, foram usados para determinação da umidade, densidade básica e estabilidade dimensional. Os toretes resultantes da retirada dos discos foram devidamente identificados e submetidos ao tratamento preservativo em autoclave. Logo após o tratamento preservativo dos toretes, discos de 5 cm de espessura foram retirados das extremidades dos toretes e, utilizados para as análises de retenção por espectrofotometria de absorção atômica e determinação da estabilidade dimensional da madeira. Para avaliar o efeito do CCA-C na estabilidade dimensional da madeira, foi feita a comparação entre médias das madeiras tratadas com CCA-C e das madeiras não tratadas, onde aplicou-se o teste de *Student* a 5% de probabilidade. Avaliou-se também a influência da retenção na estabilidade dimensional das madeiras tratadas com CCA-C, por meio de análise de correlação e Pearson e de regressão linear. Verificou-se que o tratamento preservativo com CCA-C não melhorou a estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Apesar da fraca correlação com a retenção, o inchamento tangencial foi o que sofreu maior influência do tratamento preservativo com CCA-C.

Palavras-chave: Retenção. Madeira tratada. Inchamento tangencial.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate in which extent the preservative treatment with CCA-C (Arsenide chromated copper type C) affects the dimensional stability of *Eucalyptus* wood treated in autoclave. Were used 14 fence post of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, selected due their humidity. After selecting the fence post and before the preservative treatment, discs with 5 cm thickness were removed from the two ends of the fence post and one disc in the central portion of the fence posts, which were used for determination of humidity, basic density and dimensional stability. After removing small logs, they were properly identified and submitted to the preservative treatment in autoclaving. Soon after the small logs preservative treatment, were removed discs with 5 cm thickness from the end of the short logs and used in retention tests by atomic absorption spectrophotometry and determination of dimensional stability of the wood. To evaluate the effect of CCA-C on the dimensional stability of the wood, it was made comparison between averages of wood treated with CCA-C and untreated woods, applying the Student test at 5% probability. It also evaluated the effect of retention on the dimensional stability of wood treated with CCA-C through Pearson correlation analysis and linear regression. It was found that the preservative treatment with CCA-C did not improve the dimensional stability of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Despite the weak correlation with retention, tangential swelling suffered the greatest influence by the preservative treatment with CCA-C.

Keywords: Retention. Treated wood. Tangential swelling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo geral	4
2.1.1	Objetivos específicos	4
3	REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1	Umidade	5
3.2	Densidade da madeira	6
3.3	Variação dimensional da madeira	7
3.4	Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira	8
3.5	Técnicas de preservação da madeira	10
3.6	Arseniato de cobre cromatado (CCA)	11
3.7	Retenção de produtos preservativos	14
4	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	Material vegetal	15
4.2	Amostragem pré-tratamento	15
4.3	Tratamento preservativo	16
4.4	Amostragem pós-tratamento	16
4.5	Determinação da estabilidade dimensional da madeira tratada com CCA-C e a não tratada	17
4.6	Caracterização da madeira	19
4.7	Análise de retenção	20
4.8	Níveis de retenção em diferentes classes	21
4.9	Análise estatística dos resultados	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1	Umidade e densidade básica	23
5.2	Estabilidade dimensional	24

5.3	Correlações entre as propriedades da madeira tratada com CCA-C e a não tratada	29
5.4	Retenção.....	30
5.5	Correlações entre a retenção de CCA-C e as propriedades da madeira tratada	32
5.6	Influência dos níveis de retenção nas propriedades da madeira	33
6	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material higroscópico capaz de adsorver e perder água para a atmosfera causando alteração em suas dimensões, quando o teor de água da madeira encontra-se abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). A higroscopicidade da madeira se deve à natureza hidrofílica dos constituintes de sua parede celular, em que as hidroxilas presentes na celulose e hemiceluloses são polares e podem se ligar às moléculas de água. A variação nas dimensões decorrente da variação da umidade ocasiona problemas no processamento e na utilização da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

De acordo com Kollmann e Côté Junior (1968) as variações dimensionais estão relacionadas com diversos fatores que atuam conjuntamente, como a espécie vegetal, umidade, direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), posição dentro da árvore, massa específica, teor de extrativos, ângulo microfibrilar, temperatura e grau de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade. Além disso, em função do fenômeno da anisotropia, a variação em umidade ocasiona o desenvolvimento de defeitos na madeira durante a secagem ou acondicionamento, como rachaduras e empenamentos (KLITZKE, 2007). Assim, em função da anisotropia dimensional e da susceptibilidade aos defeitos que surgem durante a secagem, é imprescindível melhorar o conhecimento dos mecanismos físicos envolvidos nos fenômenos de retratibilidade.

Oliveira (1998) considera que o conhecimento das propriedades higroscópicas é a chave para a utilização bem sucedida da madeira. Neste sentido, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com a finalidade de melhorar a estabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos. De forma geral, sabe-se que o preenchimento dos espaços

vazios existentes no interior da estrutura celular da madeira com produtos químicos capazes de reagir com a água é uma forma de reduzir a sua retratibilidade (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; COSTA et al., 2001).

Por exemplo, para amenizar a instabilidade dimensional da madeira, Kollmann (1959) investigou o emprego de soluções alcalinas e ácidas e observou que o inchamento da madeira foi menor que aquele resultante da adsorção de água pura. Stamm (1977) relatou que algumas soluções de sais e açúcares concentrados podem ser utilizadas para reduzir o inchamento e contração da madeira, tais como: soluções de cloreto de manganês, de sódio, de bário, de magnésio e de lítio, além de soluções de sacarose, glucose e frutose. Segundo Kollmann e Côté Junior (1968), a estabilidade da madeira tratada com sais ocorre por causa da reação destes compostos com os constituintes da parede celular, formando um complexo, que impede a madeira de adsorver água, uma vez que sua estrutura já se encontra saturada com os sais.

O Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) é um sal preservativo, amplamente utilizado na preservação de madeiras, protegendo-a da podridão por fungos e da deterioração por insetos e agentes marinhos. O produto é uma combinação básica de Cu (cobre), Cr (cromo) e As (arsênio). O CCA apresenta ampla utilização em todo mundo, sendo que no Brasil, trata-se de um produto de uso exclusivamente industrial, devendo ser, portanto utilizado apenas por usinas de preservação de madeiras devidamente registradas no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA). Apesar de sua ampla utilização, ainda são poucas as informações na literatura a respeito da influência do CCA na estabilidade dimensional da madeira, sobretudo na madeira de *Eucalyptus*.

Considerando que a madeira de *Eucalyptus* é amplamente empregada das mais variadas formas e que este gênero apresenta elevada anisotropia e instabilidade dimensional, é importante conhecer melhor o comportamento da madeira de *Eucalyptus* sob determinadas condições de uso, visando melhoria de sua qualidade em termos de estabilidade dimensional.

Por isso, este trabalho teve como objetivo verificar em que medida o tratamento preservativo com CCA-C (Arseniato de Cobre Cromatado tipo C) afeta a estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus* tratada em autoclave.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a influência do tratamento preservativo com CCA-C na estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus* tratada em autoclave.

2.1.1 Objetivos específicos

- . Avaliar a influência da umidade e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* na retenção de CCA-C.
- . Verificar o efeito dos níveis de retenção nas propriedades da madeira tratada em autoclave.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Umidade

O teor de água é uma medida essencial para a industrialização da madeira em geral, por exercer uma influência direta sobre muitas propriedades mecânicas e físicas da madeira (GLASS; ZELINKA, 2010). A variação da umidade da madeira pode afetar positiva ou negativamente o seu processamento e utilização. De acordo com o Anexo “B” – item 5.2 da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), a umidade da madeira corresponde à relação entre a massa de água contida na peça e a massa seca da mesma peça.

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), a água contida na madeira pode ser encontrada em três situações distintas, ou seja:

- a) Água livre ou capilar, contida nos espaços vazios (lumes e espaços intercelulares) por ação de forças de capilaridade;
- b) Água adsorvida, quimicamente ligada aos componentes da parede celular por ligações de hidrogênio, principalmente na região amorfa da celulose;
- c) Água de constituição, moléculas quimicamente unidas aos constituintes da parede celular. Faz parte da estrutura da madeira e só é retirada por degradação da mesma.

O limite entre a presença de água livre e água adsorvida na madeira foi definido como Ponto de Saturação das Fibras (PSF) e o valor se encontra em torno de 30%, dependendo da espécie (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Existe uma situação em que a madeira perde e adsorve a mesma quantidade de água do ambiente, ou seja, a umidade da madeira está em

equilíbrio com a umidade relativa do ar, o que é chamado de umidade de equilíbrio da madeira (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

A umidade da madeira afeta sua tratabilidade por substâncias preservativas. Lepage (1986) e Santini (1988) explicam que a umidade da madeira afeta a penetração e retenção do preservativo na madeira, de acordo com o processo a ser utilizado. Para tratamento em autoclave, acima do PSF, um aumento da umidade diminui a fração de vazios da madeira, podendo impedir que a retenção de preservativo desejada seja atingida.

3.2 Densidade da madeira

A densidade é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume. Está relacionada à maioria das propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais. Trata-se de um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais.

Do ponto de vista prático, normalmente a densidade pode ser expressa de duas maneiras diferentes:

- a) Densidade aparente, definida como a relação entre a massa e o volume, para uma determinada umidade;
- b) Densidade básica, definida como a relação da massa seca em estufa a $105^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ pelo respectivo volume da madeira acima do ponto de saturação das fibras.

Porém, a densidade básica é a mais utilizada na tecnologia madeira, e se correlaciona com a resistência mecânica, porosidade, facilidade de secagem e penetração de preservantes, poder calorífico,

trabalhabilidade, laminação, rendimento de polpação e estabilidade dimensional da madeira (BATISTA et al., 2010).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade básica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo entre diferentes partes da mesma árvore.

Segundo Burger e Richter (1991), maior densidade da madeira implica em menor permeabilidade e maior dificuldade de secagem e impregnação com soluções preservativas, devido ao menor volume de espaços vazios. Segundo Santini (1988) a densidade da madeira indica a quantidade aproximada de massa celular existente na sua estrutura. Em madeira seca de baixa densidade, espera-se que preservativos hidrossolúveis penetrem com mais facilidade.

3.3 Variação dimensional da madeira

A madeira quando submetida à secagem em níveis de umidade inferiores ao ponto de saturação das fibras sofre gradual redução de seu volume, ação denominada de contração. O ganho de umidade provoca o processo contrário denominado de inchamento (REZENDE, 2009). Estes são os dois sentidos do fenômeno denominado estabilidade dimensional.

As variações dimensionais decorrentes da variação na umidade ocorrem nas direções axial, radial e tangencial. Panshin e De Zeeuw (1980) afirmaram que as variações dimensionais da madeira são desiguais ao longo das três direções estruturais, sendo função de sua característica anisotrópica. Em geral, observa-se que a contração na direção tangencial é aproximadamente duas vezes maior que na direção radial (SILVA; OLIVEIRA, 2003), enquanto a axial é desprezível.

Segundo Kollmann e Côté Junior (1968), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e também pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais.

Masseran e Mariaux (1985) relataram que em grande parte das folhosas as maiores diferenças da retratibilidade tangencial em relação à radial são atribuídas às características anatômicas. Segundo os autores, o volume dos raios, a dimensão radial das fibras e as diferenciações químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira.

Tsoumis (1991) afirmou que a magnitude da contração e da expansão da madeira torna-se maior com o aumento da densidade. Lima (1996) verificou que a contração volumétrica total foi positivamente e significativamente correlacionada com a densidade básica em *Eucalyptus microcorys* de 20 anos de idade.

Outro importante índice para avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente de anisotropia, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (DURLO; MARCHIORI, 1992). O coeficiente de anisotropia, segundo Logsdon et al. (2008), pode ser usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. Kollmann e Côté Junior (1968) comentam que madeira com fator de anisotropia baixo pode ser considerada como de alta qualidade do ponto de vista da estabilidade dimensional.

3.4 Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira

As variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira, segundo Durlo e Marchiori (1992), constituem, conjuntamente com a anisotropia, características indesejáveis da

madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades ou, ainda, exigindo técnicas específicas de utilização.

A melhoria da estabilidade dimensional da madeira pode ser obtida pela redução da sua higroscopicidade, por meio da degradação térmica de seus constituintes mais hidrófilos (hemiceluloses), ruptura dos polímeros da lignina e celulose, criação de novas ligações químicas (reticulação) ou pela impregnação das paredes celulares da madeira com soluções salinas (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Stamm (1964) comenta que quanto maior for a concentração da solução de tratamento, maior será o depósito de soluto que permanecerá no interior da parede celular, diminuindo assim a contração da madeira proporcionalmente ao volume ocupado pelo soluto em solução.

Kollmann e Côté Junior (1968) listam uma sucessão crescente de aumento de inchamento produzido por soluções saturadas de uma série de cátions ($K^+ < NH_4^+ < Na^+ < Ba^{2+} < Mn^{3+} < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Li^+ < Zn^{2+}$) e ânions alcalinos ($ClO_3^- < SO_4^{2-} < NO_3^- < Cl^- < Br^- < CrO_4^- < I^-$) na madeira.

Paes et al. (2013) verificaram que a impregnação de soluções salinas na madeira de kiri (*Paulownia tomentosa*) não melhoraram a sua estabilidade dimensional. Enquanto que Paes et al. (2015) verificaram que a impregnação de amostras de madeiras de *Corymbia torelliana* com soluções salinas de cloreto de lítio e sulfato de cobre II promoveram melhoria da estabilidade dimensional da madeira, por promoverem um menor coeficiente anisotrópico.

Existem vários trabalhos sobre a estabilização dimensional da madeira, mas utilizando outros tratamentos, como é o caso de Costa et al. (2001). Tais autores avaliaram a capacidade de um resíduo de origem petrolífera (LCO ou “Light Cycle Oil” – Óleo Leve de Reciclo) na

melhoria da estabilidade dimensional das madeiras de *Pinus* sp. e *Mimosa scabrella*, na qual não encontram resultados satisfatórios.

Dos vários produtos químicos utilizados para a estabilização dimensional da madeira, o Polietilenoglicol (PEG) tem sido um dos agentes de preenchimento que tem apresentado os melhores resultados. Chen et al.(1995), trabalhando com pinus, obtiveram uma considerável redução na contração volumétrica, impregnando o alburno com polietilenoglicol.

3.5 Técnicas de preservação da madeira

De acordo com Jankowsky et al. (2002), a preservação de madeiras é entendida, usualmente, como a aplicação de produtos químicos, visando impedir a degradação física e química ou, principalmente, a deterioração biológica do material madeira.

Os preservativos ou preservantes da madeira são produtos químicos introduzidos na estrutura da madeira, visando torna-la tóxica aos fungos e insetos.

Os métodos de tratamento da madeira são classificados em industriais e não industriais. Os métodos não industriais englobam todos os tratamentos dados à madeira visando preservá-la, sem a utilização de pressão externa, embasado nos princípios de capilaridade e, ou, de difusão (BRAZOLIN et al., 2004). As técnicas de tratamento não industrial são conhecidas por não utilizarem materiais ou equipamentos mais específicos ou sofisticados durante o processo de tratamento, não exigirem mão de obra especializada e possuem fácil emprego em comparação com os métodos industriais (COSTA, 2003). Pode-se citar como exemplo, o pincelamento, aspersão, imersão, substituição da seiva e o banho quente-frio.

Os processos industriais são realizados nas chamadas Usinas de Preservação de Madeira (UPMs) que são unidades industriais dotadas de autoclaves, bombas de vácuo e de pressão, podendo ter fontes de calor, dependendo do tipo de produto utilizado, com sistemas de controle, vagonetas, tanques, áreas de proteção ambiental, pátios de secagem e preparação, e estruturas de movimentação de cargas.

Dentre os processos industriais destacam-se os de célula cheia e célula vazia. A diferença entre os dois processos é a aplicação do vácuo inicial no processo de célula cheia. Esse é responsável por extrair parte do ar das camadas superficiais da madeira, facilitando a entrada do preservativo (SANTINI, 1988).

Segundo Santini (1988) os processos de célula vazia são aplicados quando se deseja profundidade de penetração com baixa retenção do produto. Estes processos são normalmente para impregnação com produtos oleossolúveis, porém podem ser utilizados também produtos oleosos ou hidrossolúveis. Já o processo de célula cheia proporciona retenções mais elevadas e é o método mais utilizado para se tratar madeira sob pressão.

3.6 Arseniato de cobre cromatado (CCA)

O arseniato de cobre cromatado é um preservativo hidrossolúvel a base de cobre, cromo e arsênio, de ampla utilização em todo mundo. Este preservativo possui três formulações, A, B e C, conforme a Tabela 1. Devido a sua formulação o CCA é um produto que pode causar graves impactos sobre o ambiente, pois o mesmo pode ser lixiviado da madeira, como mostra os estudos de Choi et al. (2004). Por esse motivo, o tipo C

é o mais usado por apresentar maior resistência à lixiviação e melhor desempenho no campo.

Tabela 1 Composição dos três tipos de arseniato de cobre cromatado (CCA).

Ingredientes	CCA (% em massa)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo hexavalente (CrO ₃)	65,5	35,3	47,5
Cobre (CuO)	18,1	19,6	18,5
Arsênio (As ₂ O ₅)	16,4	45,1	34,0

Fonte Embrapa (2004).

Segundo Smith e William (1973), o cobre age como fungicida através da precipitação de proteínas, provocando reações enzimáticas que interferem no metabolismo dos fungos. Na prática, o cobre fornece proteção contra fungos, o cromo tem a função de fixar o cobre e o arsênio na madeira, já o arsênio fornece proteção suplementar contra fungos tolerantes ao cobre e insetos (FREEMAN; MCINTYRE, 2008).

A fixação de um preservativo como o CCA é um processo complexo e ativo, no qual os componentes não são simplesmente levados pelas vias de condução da madeira e depositados no lume das células (HAYES et al., 1994). Trata-se de um processo amplamente estudado por diferentes pesquisadores e embora as reações iniciais sejam bem caracterizadas, as reações contínuas, de longo prazo e os efeitos que essas têm na distribuição de metais utilizados ainda não são completamente compreendidas (HINGSTON et al., 2001).

Logo após a aplicação do CCA na madeira, os componentes químicos reagem com os da madeira, formando compostos. Essas

reações são chamadas de reações de fixação e iniciam-se logo após o tratamento. O período em que essas reações ocorrem é chamado de fixação primária e, uma vez completo, o CCA se cristaliza e fica disposto no lume das células da madeira (HAYES et al., 1994).

Segundo Lepage (1986), as reações instantâneas iniciais do CCA com a madeira promovem um rápido decréscimo do pH e essa queda é atribuída à fixação do cobre por troca iônica, com a liberação de prótons. Numa segunda fase, ocorre um acréscimo gradual do pH, no momento em que as reações de fixação progridem, devido à formação dos complexos lignina-ácido crômico e lignina-cromato de cobre, bem como, a redução do cromo. Segundo o autor, uma grande quantidade de cobre que é fixado na madeira fica localizada na camada S1, sugerindo essa associação da lignina com o cobre; a celulose também se encontra aderida ao cobre, através das ligações OH. O cromo, por sua vez, forma compostos com a madeira nas formas trivalente e hexavalente, formando complexos com a lignina, provavelmente com as unidades guaiacil. Quando o cromo é reduzido para a forma trivalente ocorre uma reação com o arsênio, formando o composto CrAsO_4 . Na madeira tratada, aproximadamente 85% do arsênio reage com o cromo; o restante forma complexos relativamente insolúveis com a lignina e a celulose.

Pettye e Preston, citados por Williams et al. (1991), estudaram a distribuição do CCA na madeira, e demonstraram que o cobre não pode penetrar nas regiões cristalinas da celulose, mas pode penetrar nas regiões amorfas.

Com relação aos aspectos toxicológicos, o CCA pertence à classe I (extremamente tóxico) de classificação toxicológica, segundo a classificação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Em relação a sua classificação de risco ambiental o CCA também

pertence a classe I (extremamente tóxico), conforme a classificação do IBAMA.

3.7 Retenção de produtos preservativos

O controle de qualidade da madeira tratada é feito pela determinação da distribuição, da penetração e da retenção de preservativos na madeira (GALVÃO et al., 1967). Santini (1988) considera que a penetração se refere à profundidade com que o preservativo penetra na madeira, tanto axial como transversalmente. Rodriguez Herrera (1977) afirma que a penetração é um bom indicativo do tratamento preservativo, mas não se relaciona ao verdadeiro grau de proteção proporcionado à madeira. Assim, é necessário que se defina a retenção, ou seja, a quantidade de produto na região tratada.

A retenção é expressa geralmente como a quantidade de preservativo contida em um determinado volume de madeira, expressa em kg/m^3 . Quando o preservativo utilizado é do tipo hidrossolúvel, a retenção é expressa pela quantidade de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira tratável ($\text{kg I.A.}/\text{m}^3$). Segundo Torres Juan (1966) a retenção do produto preservativo na madeira é um indicativo econômico do tratamento.

Segundo Hunt e Garratt (1967), a retenção é o fator mais importante no desempenho do material tratado. Os autores destacam ainda que a quantidade de produto para fornecer adequada proteção depende do uso a ser dado à madeira. A retenção indicada para moirões, uso em contato com o solo, é de $6,5 \text{ kg}/\text{m}^3$, de acordo com a NBR 9480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material vegetal

Foram utilizados 14 moirões de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com diâmetro variando entre 9-12 cm e comprimento de 1,60 m, fornecidos pela empresa Esteio S.A. localizada em São João Del Rei/MG, provenientes de um plantio clonal da própria empresa.

Os 14 moirões foram selecionados em função de sua umidade, sendo que esta foi pré-determinada com o auxílio de um medidor elétrico de umidade.

4.2 Amostragem pré-tratamento

Após a seleção dos moirões e antes do tratamento preservativo, foi feita a retirada das extremidades dos moirões, sendo que estas foram descartadas por se apresentarem secas e com algumas rachaduras. Após esta operação retirou-se discos de 5 cm de espessura das duas extremidades dos moirões e um disco da parte central dos moirões (Figura 1). Esses discos foram utilizados para determinação da umidade, densidade básica e estabilidade dimensional.

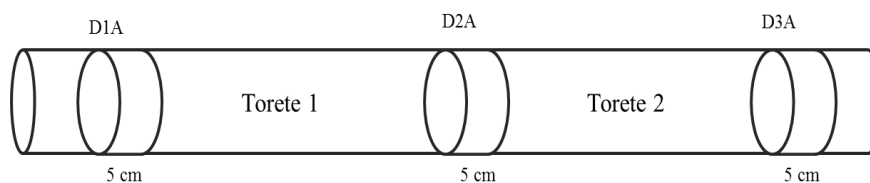


Figura 1 Amostragem pré-tratamento, para análise das características da madeira. D1A: disco para determinação da densidade básica; D2A: disco para determinação da umidade; D3A: disco para determinação da estabilidade dimensional.

Após a retirada dos discos, os dois toretes resultantes (toretos 1 e 2, Figura 1) foram devidamente identificados e submetidos ao tratamento preservativo em autoclave.

Os discos retirados antes do tratamento foram encaminhados para o Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Lavras, onde foram pesados com o auxílio de uma balança de precisão para determinação da massa úmida, de modo a se determinar posteriormente a umidade de cada moirão antes do tratamento preservativo em autoclave.

4.3 Tratamento preservativo

Os toretes 1 e 2 resultantes do processo de amostragem pré-tratamento (Figura 1) foram submetidos ao tratamento preservativo em autoclave na empresa Esteio S. A. O tratamento foi realizado conforme procedimento comercial da empresa. O produto preservativo utilizado foi o CCA tipo C, com concentração de 1,7% e retenção esperada de 6,5 Kg/m³ de madeira.

4.4 Amostragem pós-tratamento

Após o tratamento preservativo dos toretes, foram retirados discos de 5 cm de espessura das extremidades dos toretes 1 e 2 (Figura 2). Esses discos foram utilizados nas análises de retenção e para determinação da estabilidade dimensional da madeira.

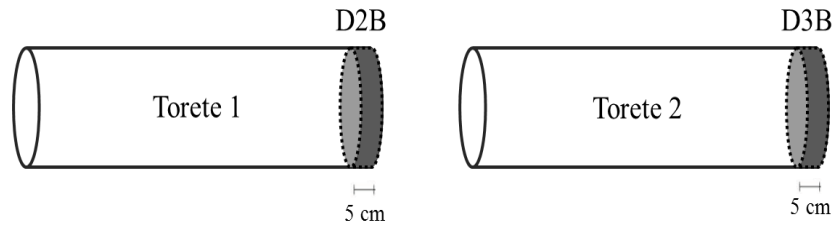


Figura 2 Amostragem pós-tratamento. D2B: disco para análise de retenção; D3B: disco para determinação da estabilidade dimensional.

4.5 Determinação da estabilidade dimensional da madeira tratada com CCA-C e a não tratada

Foram retirados corpos de prova da região do alburno de aproximadamente 2 cm x 2 cm x 5 cm dos discos destinados para a realização dos ensaios de variação dimensional, isto tanto para os discos que foram tratados com CCA-C como para aqueles que não foram tratados. No total foram utilizados 39 corpos de provas tratados e 39 não tratados.

Os corpos de provas tratados e não tratados com CCA-C foram colocados primeiramente em condição ambiente, de modo a entrar em equilíbrio com o mesmo. Logo após os corpos de prova foram pesados em balança de precisão para determinação de sua massa. Foram feitas medições, com auxílio de paquímetro digital, para se determinar as dimensões dos corpos de prova nas direções radial e tangencial, sendo que os locais das medições foram anteriormente marcados com caneta esferográfica, para posteriormente se fazer novas medições nos mesmos locais.

Após as medições, procedeu-se a saturação dos corpos de prova em casa de vegetação com sistema de irrigação e ventilação, localizada no Laboratório de Cultura de Tecidos e Plantas Medicinais, da

Universidade Federal de Lavras. Os corpos de prova permaneceram na condição de saturação durante 5 dias. Passado esse tempo os corpos de prova foram novamente pesados, e também foi feita as medições das dimensões radial e tangencial, de modo a se determinar o inchamento dos mesmos.

Logo após, os corpos de prova foram submetidos à secagem, de modo a se determinar as contrações radiais e tangenciais, sendo que os corpos de prova foram colocados em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingir massa constante, onde foram feitas novas pesagens (determinação da massa seca) e novas medições como descrito anteriormente.

Realizadas as medições e as pesagens, os corpos de prova foram deixados no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira em temperatura ambiente durante 30 dias para retomada da condição de equilíbrio com o ambiente. Após os 30 dias os corpos de prova foram pesados e medidos, de modo a se determinar novamente o inchamento dos corpos de provas tratados e não tratados com CCA-C.

Através da determinação da massa seca em estufa, foi possível calcular a umidade dos corpos de prova quando submetidos à saturação e quando colocados em temperatura ambiente.

O cálculo das contrações e dos inchamentos foi feito conforme recomendações da norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990). O coeficiente anisotrópico, para a contração e o inchamento, foi obtido pelo quociente entre as dimensões tangenciais e as radiais.

A Figura 3 apresenta um fluxograma com resumo da estratégia experimental adotada neste estudo.

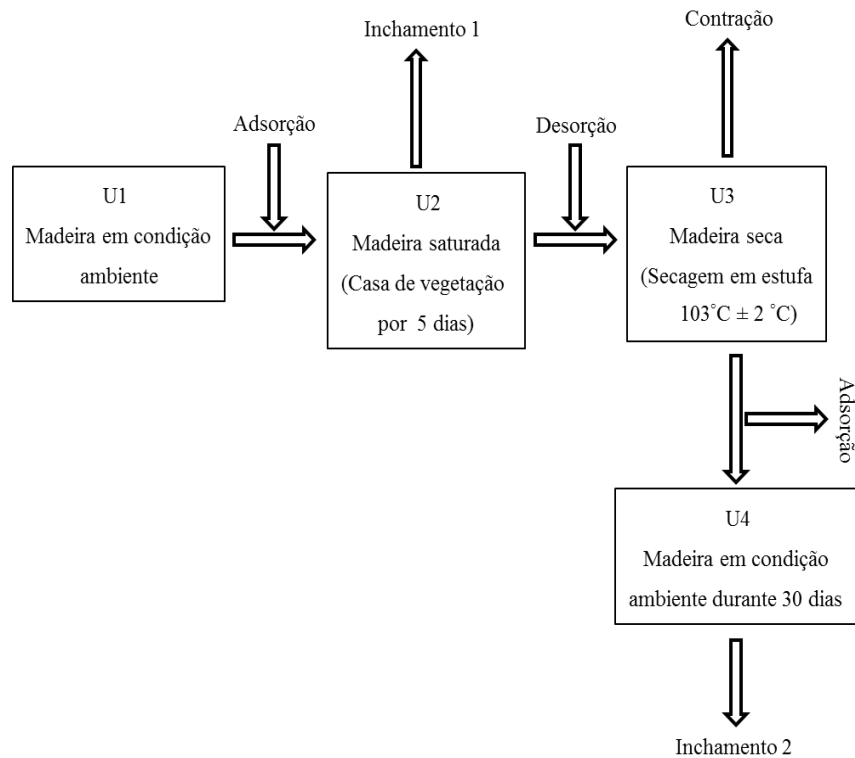


Figura 3 Fluxograma com resumo das atividades realizadas no experimento.

4.6 Caracterização da madeira

Para determinação da densidade básica foram retirados corpos de prova de formato cúbico de 2 cm x 2 cm x 2 cm da região do alburno. A densidade básica foi determinada pelo método de imersão em água de acordo com o procedimento descrito na NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Após a mensuração da massa úmida em balança de precisão, os discos destinados para a determinação da umidade foram colocados em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para mensuração da massa seca dos mesmos. A

umidade dos discos foi determinada conforme a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

4.7 Análise de retenção

Para realização das análises de retenção, os discos selecionados para esta finalidade tiveram a região do alburno (parte tratada) separada da região do cerne. Após essa separação a região tratada foi moída e peneirada em peneira de granulometria de 40 mesh, onde se obteve 14 amostras compostas devidamente identificadas conforme a identificação dos moirões.

Essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise Foliar, do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras, para realização da digestão acelerada, através de solução nitroperclórica. Logo após, foi feita a realização das leituras por espectrofotometria de absorção atômica, para quantificação dos componentes do produto preservativo nas amostras. A quantificação dos elementos cobre e cromo, foi feita no próprio Laboratório de Análise Foliar. Já a quantificação do elemento arsênio foi feita no Laboratório de Geoquímica, do Departamento de Ciências do Solo, da Universidade Federal de Lavras.

A partir dos dados obtidos por espectrofotometria e do volume das amostras de madeira, os cálculos de retenção foram efetuados de acordo com a equação 1, apresentada por Paes (1991).

$$R = \frac{F \times L \times Fd \times 10^{-3}}{V} \quad (1)$$

em que: R = retenção do elemento na madeira (kg I.A./m³); F = fator estequiométrico empregado para transformação dos elementos químicos para óxidos (cobre = 1,2518; cromo = 1,9230; arsênio = 3,0680); L = leitura obtida do espectrofotômetro (mg/L); Fd = fator de diluição necessário para as leituras no espectrofotômetro; V = volume das amostras utilizadas nas análises (cm³).

Os cálculos foram feitos para cada elemento individualmente. Assim, a retenção total corresponde à somatória das retenções individuais.

4.8 Níveis de retenção em diferentes classes

Para verificar a influência dos níveis de retenção nas propriedades da madeira tratada, separou-se as retenções em 3 diferentes classes.

A classe 1 foi composta pelas madeiras que apresentaram retenção inferior a média das retenções menos um desvio padrão. A classe 2 foi composta pelas madeiras que apresentaram retenção compreendida entre a média menos um desvio padrão e a média mais um desvio padrão. Já a classe 3 foi composta pelas madeiras que obtiveram retenção superior a média mais um desvio padrão.

4.9 Análise estatística dos resultados

Para avaliar o efeito do CCA-C na estabilidade dimensional da madeira e na umidade em cada condição descrita acima, foi feita a comparação entre médias das madeiras tratadas com CCA-C e das madeiras não tratadas, em que se aplicou o teste de *Student* a 5% de significância.

Verificou-se a influência da umidade e da densidade básica do alburno na retenção do preservativo CCA-C por meio de análise de correlação e Pearson e de regressão linear.

Avaliou-se também a influência da retenção na estabilidade dimensional e na umidade das madeiras tratadas com CCA-C.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos programas estatísticos SPSS Statistics v.19 e SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Umidade e densidade básica

Antes do tratamento preservativo os moirões se encontravam com uma umidade média de 28,84% (b.s.) (Tabela 2). Para o tratamento preservativo da madeira através de métodos industriais que utilização pressão, é aconselhável que a madeira esteja com umidade abaixo do PSF (SANTINI, 1988).

Com relação à densidade básica do alburno, os moirões apresentaram uma densidade básica média de 0,471 g/cm³ (Tabela 2). Esse valor de densidade básica se assemelha aos encontrados por Santos e Sansígolo (2007) e Gonçalves (2009) para madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

Tabela 2 Estatística descritiva dos valores de umidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

	U (%)	Densidade (g/cm ³)
Média	28,84	0,471
Sd	5,27	0,05
Mínimo	19,55	0,375
Máximo	38,37	0,577
CV (%)	18,27	10,88

Sd = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação (em porcentagem).

5.2. Estabilidade dimensional

Os valores de umidade dos corpos de prova tratados e não tratados nas condições ambiente e de saturação no ensaio de estabilidade dimensional se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 Valores de umidade de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* tratados e não tratados com CCA-C no ensaio de estabilidade dimensional.

Condição	Umidade (%)	
	Tratado	Não tratado
Condição ambiente (U1)	12,51a	12,22b
CV	4,57	5,13
Condição de saturação (U2)	60,41a	62,59a
CV	19,88	16,29
Condição ambiente (U4)	11,59a	11,31b
CV	2,25	3,12

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$); CV = Coeficiente de variação (em porcentagem).

Verifica-se através da Tabela 3 que a umidade dos corpos de provas tratados e não tratados com CCA-C não diferiram estatisticamente quando submetidos à saturação (U2). Porém, nas condições em que os corpos de prova se encontravam em equilíbrio com o ambiente, U1 e U4, os corpos de prova tratados com CCA-C apresentaram uma maior umidade em relação aos não tratados.

Conforme mostra a Tabela 4, os corpos de prova tratados com CCA-C apresentaram maiores valores de inchamento radial e tangencial após a saturação. Paes et al. (2015) verificaram menores valores de

inchamento radial e tangencial para madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana* impregnadas com solução de cloreto de lítio.

Com relação ao coeficiente anisotrópico, este não diferiu estatisticamente para os dois tratamentos. Observando os valores de coeficiente anisotrópico, das madeiras tratadas e não tratadas com CCA-C, verifica-se que as mesmas apresentaram boa estabilidade dimensional, devido ao baixo coeficiente anisotrópico. Segundo Klitzke (2007) madeiras com o coeficiente de anisotropia inferior a 1,5 são consideradas madeiras estáveis.

Tabela 4 Inchamento radial, tangencial e coeficiente de anisotropia de madeiras de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* tratadas e não tratadas com CCA-C.

Inchamento 1 (%)	Tratamentos	
	Tratado	Não tratado
Radial (R)	4,95a	4,3b
CV	29,35	31,28
Tangencial (T)	6,68a	5,88b
CV	25,30	21,37
CA (T/R)	1,46a	1,52a
CV	39,59	48,16

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$); CV = Coeficiente de variação (em porcentagem); CA = Coeficiente de anisotropia.

Pode-se verificar através da Tabela 5, que não houve diferença estatística na contração radial e tangencial entre as madeiras tratadas e não tratadas com CCA-C. O coeficiente anisotrópico também não se diferiu estaticamente entre os dois tratamentos, sendo que as madeiras

tratadas e as não tratadas com CCA-C apresentaram uma boa estabilidade, devido ao baixo coeficiente anisotrópico.

Tabela 5 Contração radial, tangencial e coeficiente de anisotropia de madeiras de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* tratadas e não tratadas com CCA-C.

Contração (%)	Tratamentos	
	Tratado	Não tratado
Radial (R)	6,17a	5,69a
CV	22,35	21,46
Tangencial (T)	7,93a	7,34a
CV	18,56	24,09
CA (T/R)	1,36a	1,33a
CV	38,08	26,47

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$); CV = Coeficiente de variação (em porcentagem); CA = Coeficiente de anisotropia.

Paes et al. (2015) também não observaram diferenças estatísticas na contração radial das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* para as amostras impregnadas com soluções salinas e as imersas em água destilada. Já para a contração tangencial, os mesmos autores verificam diferenças na estabilidade dimensional apenas para as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* que foram impregnadas com solução de cloreto de sódio, sendo que estas apresentaram menores valores de contração tangencial em relação às amostras de madeiras imersas em água destilada.

Na Tabela 6, verifica-se que o inchamento radial das madeiras tratadas e não tratadas com CCA-C, após 30 dias em temperatura ambiente, foi semelhante para os dois tratamentos. Quanto ao inchamento tangencial, este foi maior para as madeiras tratadas com CCA-C. Não houve diferença estatística entre os coeficientes anisotrópicos das madeiras tratadas e não tratadas com CCA-C.

Tabela 6 Inchamento radial, tangencial e coeficiente de anisotropia de madeiras de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* tratadas e não tratadas com CCA-C.

Inchamento 2 (%)	Tratamentos	
	Tratado	Não tratado
Radial (R)	2,02a	1,93a
CV	42,32	34,30
Tangencial (T)	2,90a	2,49b
CV	26,21	26,10
CA (T/R)	1,72a	1,49a
CV	58,59	59,64

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$); CV = Coeficiente de variação (em porcentagem); CA = Coeficiente de anisotropia.

Conforme mostram as Tabelas 4 e 6, o inchamento na direção tangencial foi o que sofreu maior influência do tratamento preservativo com CCA-C, obtendo maiores valores em relação à madeira não tratada.

Uma forma de reduzir a contração ou o inchamento da madeira é através do preenchimento dos espaços vazios existentes na estrutura da madeira com produtos químicos capazes de reagir com os constituintes da parede celular da madeira (COSTA et al., 2001). O CCA-C é um

produto que durante as suas reações de fixação na madeira pode degradar a hemicelulose e formar compostos com a celulose, o que pode levar há uma diminuição da higroscopicidade da madeira, e consequentemente uma redução da sua instabilidade dimensional.

Através dos resultados obtidos, observa-se que o tratamento preservativo com CCA-C não melhorou a estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

A Figura 4 apresenta um fluxograma com resumo dos principais resultados encontrados.

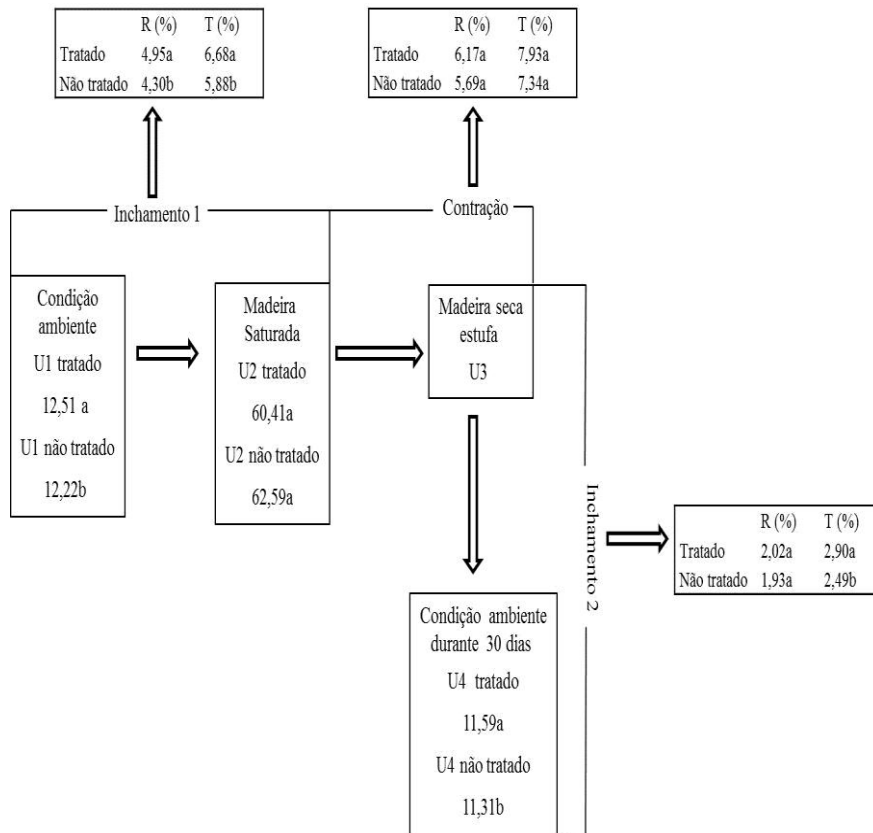


Figura 4 Fluxograma com resumo dos principais resultados.

5.3 Correlações entre as propriedades da madeira tratada com CCA-C e a não tratada

A Tabela 7 apresenta os coeficientes de correlação entre as propriedades da madeira tratada com CCA-C e a não tratada, em cada condição em que as madeiras foram submetidas no ensaio de estabilidade dimensional, e também para os inchamentos e contrações radiais e tangenciais.

Tabela 7 Coeficientes de correlação entre as propriedades da madeira de tratada com CCA-C e a não tratada.

Pares de correlação	Coefficiente de correlação (r)
U1 tratado x U1 não tratado	0,35
U2 tratado x U2 não tratado	0,48
U4 tratado x U4 não tratado	ns
Inch. R1 tratado x Inch. R1 não tratado	ns
Inch. T1 tratado x Inch. T1 não tratado	0,39
Contr. R tratado x Contr. R não tratado	ns
Contr. T tratado x Contr. T não tratado	ns
Inch. R2 tratado x Inch. R2 não tratado	ns
Inch. T2 tratado x Inch. T2 não tratado	0,32

ns = não significativo, pelo teste *t* de *Student*, a 5% de significância; U1 = umidade na condição ambiente; U2 = umidade na condição de saturação; U4 = umidade após 30 dias em condição ambiente; R = radial; T = tangencial; Inch. = inchamento; Contr. = contração.

As correlações entre as U4, inchamentos radiais 1 e 2, e contrações radiais e tangenciais das madeiras tratadas com CCA-C e as não tratadas foram não significativas. Onde houve correlação, esta foi tida como fraca.

5.4 Retenção

Os valores de retenção de CCA-C para cada moirão estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Retenção de CCA-C, densidade básica da madeira e umidade da madeira antes do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

Moirão	Retenção (kg I.A./m ³)	Densidade básica da madeira (g/cm ³)	Umidade da madeira (%)
1	5,61	0,540	32,65
2	5,68	0,538	30,65
3	6,84	0,500	19,55
4	5,26	0,541	32,09
5	6,25	0,411	26,06
6	6,95	0,473	22,02
7	6,07	0,452	33,90
8	6,38	0,428	23,32
9	6,14	0,454	26,62
10	5,87	0,458	38,37
11	6,29	0,466	30,24
12	7,58	0,473	25,72
13	6,36	0,417	28,46
14	5,98	0,444	34,14
Média	6,23	0,471	28,84
CV (%)	9,55	9,30	18,27

CV = Coeficiente de variação (em porcentagem).

Algumas propriedades da madeira, como a umidade e densidade básica, afetam a retenção de produtos preservativos na madeira. Segundo Nicholas e Siau (1973) o aumento da umidade a um ponto acima da umidade de saturação das fibras diminui a fração de espaços

vazios da madeira, dificultando a retenção de preservativos. Burger e Richter (1991) afirmaram que, de modo geral, uma maior densidade implica em menor permeabilidade e maior dificuldade de secagem e impregnação com soluções preservativas, devido ao menor volume de espaços vazios.

Neste estudo, a correlação entre a umidade e a retenção dos moirões se mostrou significativa ao nível de 5% de significância pelo teste *t* de *Student*, apresentando uma correlação moderada ($r = -0,67$). Através da Figura 5, verifica-se uma relação inversa entre a umidade e a retenção.

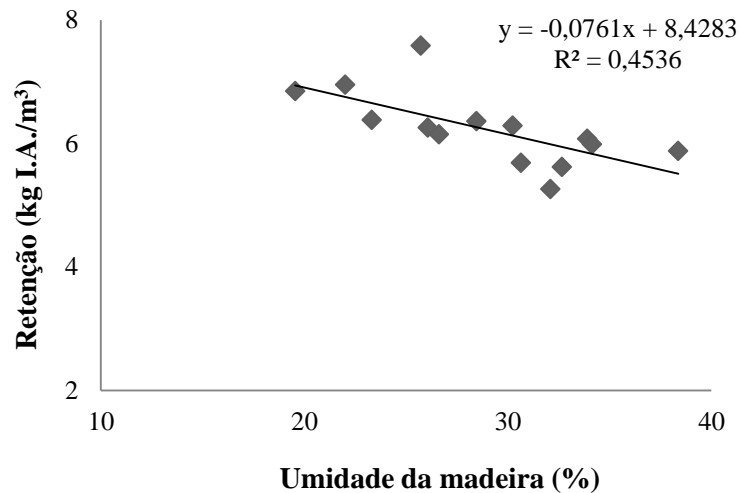


Figura 5 Diagrama de dispersão da variação da retenção em função da variação da umidade dos moirões.

Resultado semelhante foi encontrado por Usta (2004), que avaliando o efeito da umidade na retenção de preservativo hidrossolúvel na madeira de *Abies nordmanniana*, verificou que valores de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras proporcionaram maior retenção do produto, sendo a maior retenção obtida na umidade de 22%. Amaral

et al. (2014), observaram que o aumento do tempo de secagem de 20 para 40 dias proporcionou incremento significativo na retenção média de CCA-C, de 5,70 para 6,67 kg I.A./m³ na madeira de *Eucalyptus*.

Já a correlação entre a densidade básica do alburno e a retenção não foi significativa a 5% de significância. Hunt e Garratt (1967) afirmaram que não existe relação nítida entre a densidade e a retenção de produtos preservativos na madeira de angiospermas.

5.5 Correlações entre a retenção de CCA-C e as propriedades da madeira tratada

Para o estudo das correlações, consideraram-se apenas as madeiras que sofreram tratamento preservativo com CCA-C. A Tabela 9 apresenta os coeficientes de correlação entre a retenção de CCA-C e as propriedades da madeira tratada encontradas no ensaio de estabilidade dimensional.

Verifica-se através da Tabela 9, que a retenção de CCA-C não influenciou nos valores de umidade, inchamento e contração da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* tratada, devido a falta e a baixa correlação entre elas.

Tabela 9 Coeficientes de correlação entre a retenção de CCA-C e as propriedades da madeira.

Retenção de CCA-C Versus	Coefficiente de correlação (r)
U1	-0,30
U2	0,31
U4	ns
Inchamento R1	ns
Inchamento T1	-0,22
Contração R	ns
Contração T	ns
Inchamento R2	ns
Inchamento T2	-0,32

ns = não significativo, pelo teste *t* de *Student*, a 5% de significância; U1 = umidade na condição ambiente; U2 = umidade na condição de saturação; U4 = umidade após 30 dias em condição ambiente; R = radial; T = tangencial.

5.6 Influência dos níveis de retenção nas propriedades da madeira

Através da separação das retenções em três diferentes classes, verificou se houve influência dos níveis de retenção nas umidades e também na instabilidade dimensional da madeira tratada com CCA-C. As três classes de retenção se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 Classes de retenção de CCA-C para madeiras de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

Classes	Intervalo	Média da classe (kg I.A./m³)
Classe 1	$R < 5,64$	5,43c
Classe 2	$5,64 \leq R \leq 6,83$	6,11b
Classe 3	$R > 6,83$	7,12a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$).

Na umidade em cada condição, se verificou diferença estatística entre as classes, apenas para U2, na qual as madeiras foram submetidas à saturação (Tabela 11). Na Figura 6, observar-se que os menores valores de umidade das madeiras saturadas foram encontrados na classe 1, e o maiores valores na classe 3.

Com relação à instabilidade dimensional, se verificou diferença significativa apenas no inchamento tangencial das madeiras que ficaram em condição ambiente durante 30 dias, onde houve um maior inchamento tangencial na classe 1, e um menor inchamento tangencial na classe 3 (Figura 7).

Tabela 11 Valores médios das propriedades da madeira tratada com CCA-C por classe de retenção.

Propriedades da madeira (%)	Classes de retenção		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
U1	12,76a	12,45a	12,49a
CV	6,35	4,66	2,28
U2	54,72b	59,22ab	68,39a
CV	6,98	20,44	18,75
U4	11,58a	11,54a	11,75a
CV	1,07	2,43	1,87
Inchamento R1	5,48a	4,89a	4,76a
CV	20,38	33,09	24,13
Inchamento T1	7,41a	6,78a	5,84a
CV	15,35	27,94	17,01
Contração R	6,53a	6,04a	6,30a
CV	21,61	25,29	13,31
Contração T	8,35a	7,65a	8,50a
CV	19,59	16,37	22,55
Inchamento R2	2,16a	1,93a	2,20a
CV	45,30	49,16	15,57
Inchamento T2	3,53a	2,83ab	2,63b
CV	23,70	27,22	14,97

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$); CV = Coeficiente de variação (em porcentagem); U1 = umidade na condição ambiente; U2 = umidade na condição de saturação; U4 = umidade após 30 dias em condição ambiente; R = radial; T = tangencial.

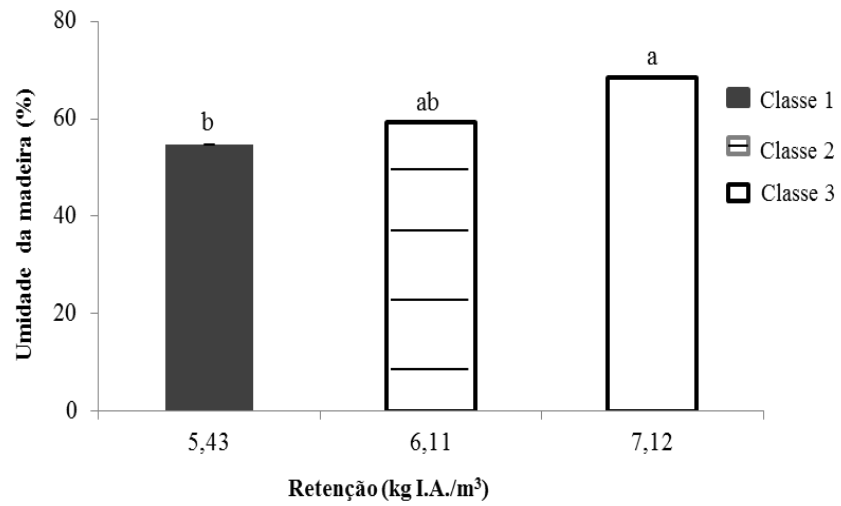


Figura 6 Umidade da madeira tratada com CCA-C na condição saturada por classe de retenção.

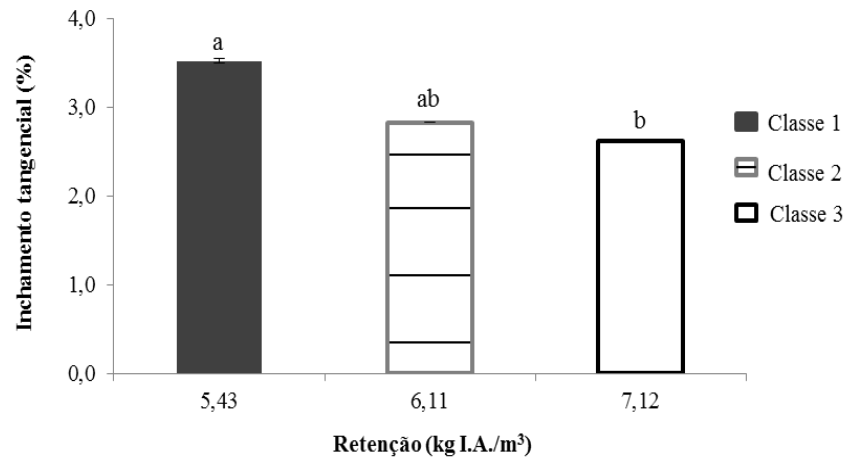


Figura 7 Inchamento tangencial da madeira tratada com CCA-C na condição ambiente durante 30 dias por classe de retenção.

6 CONCLUSÕES

O tratamento preservativo com CCA-C não melhorou a estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

A retenção de CCA-C foi influenciada pela umidade dos moirões, apresentando uma correlação moderada ($r = -0,67$).

Apesar da fraca correlação com a retenção, o inchamento tangencial foi o que sofreu maior influência do tratamento preservativo com CCA-C.

De um modo geral, os níveis de retenção não influenciaram a instabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. S.; SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Influência do diâmetro e umidade no tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 5, p. 919-925, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7190: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 11941: densidade básica da madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 9480: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 12 p.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BRAZOLIN, S.; LANA, E. L.; MONTEIRO, M. B. B.; LOPEZ, G. A. C.; PLETZ, E. Preservação de madeira: sistema de classes de risco. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, SP, n. 3, art. 5, maio/ago. 2004. 13 p.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CHEN, Y.; CHOONG, E.T.; BARNES, H.M. Effect of selected water - soluble bulking chemicals on moisture diffusion and dimensional stability of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.45, n.5, p.84-90, 1995.

CHOI, S; RUDDICK, J. N. R.; MORRIS, P. Chemical redistribution in CCA - treated decking. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, ed. 3, p. 33-37, 2004.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 59-70, 2001.

COSTA, A. F. **Como preservar a madeira no meio rural**. Brasília: UNB, 2003. 31 p. (Comunicações Técnicas Florestais).

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: Retratibilidade**. Santa Maria, CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

FREEMAN, M. H.; MCINTYRE, C. R. A. Comprehensive Review of Copper Based Wood Preservatives: with a focus on new micronized or dispersed copper systems. **Forest Products Journal**, Madison, v. 58, n. 11, p. 6-27, nov. 2008.

GALVÃO, A. P. M.; BARBIN, D.; CARVALHO, C. M. Contribuição ao estudo da eficiência dos processos de difusão simples e dupla no tratamento de eucalipto, através da análise química. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, n. 6, p. 301 – 324, 1967.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, 1985. 112 p.

GOMES, D. F. F.; SILVA, J. R. M.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F. Avaliação da estabilidade dimensional da madeira acetilada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 125-130, abril 2006.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.501-509, 2009.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering

material. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, 100 ed., 2010. Cap. 4., p. 1-20.

HAYES, C.; CURRAN, P. M. T.; HYNES, M. J. Preservative leaching from softwoods submerged in Irish Coastal waters as measured by atomic-absorption spectrophotometry. **Holzforshung**, Berlin, v.48, n. 6, p. 463-473, 1994.

HINGSTON, J. A. et al. Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review. **Environmental Pollution**, London, v. 111, n. 1, p. 53-66, 2001.

HUNT, G. M.; GARRAT, G. A. 1967. **Wood preservation**. 3. Ed. McGraw Hill, New York. 433 p.

JANKOWSKY, I. P.; BARILLARI, C. T.; FREITAS, V. P. A preservação de madeiras no Brasil. **Revista da Madeira**, v.67, n.1, p.49-50, 2002.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, N. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271 366.

KOLLMANN, F. E. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 675 p.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. p. 523-540; p. 279-342.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

LOGSDON, N.B.; FINGER, Z.; PENNA, E.S. Caracterização físico mecânica da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 36, n. 77, p. 43-51, 2008.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropic de retrait et structure du bois. Recherche de l'influence des caracteres morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, n. 209, p. 35-47, 1985.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 152-175, 2013.

NICHOLAS, D. D.; SIAU, J. F. Factors influencing the treatability of wood. In: NICHOLAS, D. D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments**. Syracuse: Syracuse University Press, 1973. 2 v., cap. 4, p. 299-343.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; FILHO, M. T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

PAES, J. B. **Viabilidade do tratamento preservativo de moirões de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), por meio de métodos simples e comparações de sua tratabilidade com a do *Eucalyptus viminalis* Lab.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1991. 140 p.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; EUFLOSINO, A. E. R.; SALVADOR, F. M.; VITÓRIA, J. B. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira de kiri (*Paulownia tomentosa*). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, SP, v.21, n.1, fev., 2013.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. L.; KLITZKE, R. J. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional

das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 271-281, jun. 2015.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: Mc-Graw-Hill, 1980. 722 p.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p.133-141, jan./dez. 1995.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. 178f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

RODRIGUEZ HERRERA, J. A. Preservación de maderas por metodos sencillos y de bajo costo. **Ciência Florestal**, México, 2 (8): 25-49, 1977.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1988. 125 p.

SANTOS, S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 53-63, jan-mar, 2007.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 233-239, 2003.

SMITH, D. N. R.; WILLIAMS, A. I. The effect os composition on the effectiveness and fixation of copper-chrome-arsenic and copper-chrome preservatives. Part1: effectiveness. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 7, p. 60-76, 1973.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

STAMM, A. J. Dimensional changes of wood and their control. In: GOLDSTEIN, I.S. (Ed.) **Wood technology: chemical aspects**. ACS Symp. Ser. 43, Washington, 1977, p.115-140.

TORRES JUAN, J. **Conservación de maderas em su aspecto práctico**. Madrid, Instituto Florestal de Investigaciones y Experiências, 1966. 101 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

USTA, I. The effect of moisture content and wood density on the preservative uptake of Caucasian fir (*Abies nordmanniana* (Link.) Spach) treated with CCA. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Turquia, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2004.

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, p. 323, 1991.