



LUCAS SOARES AMARAL

**PENETRAÇÃO E RETENÇÃO DO
PRESERVANTE EM *Eucalyptus* COM
DIFERENTES DIÂMETROS**

LAVRAS – MG

2012

LUCAS SOARES AMARAL

**PENETRAÇÃO E RETENÇÃO DO PRESERVANTE EM *Eucalyptus*
COM DIFERENTES DIÂMETROS**

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 a obtenção do título de mestre.

Orientador

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Amaral, Lucas Soares.

Penetração e retenção do preservante em *Eucalyptus* com
diferentes diâmetros / Lucas Soares Amaral. – Lavras : UFLA, 2012.
81 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.
Orientador: José Reinaldo Moreira da Silva.
Bibliografia.

1. Preservação da madeira. 2. Qualidade. 3. Características. 4.
Processamento. 5. CCA-C. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 674.38

LUCAS SOARES AMARAL

**PENETRAÇÃO E RETENÇÃO DO PRESERVANTE EM *Eucalyptus*
COM DIFERENTES DIÂMETROS**

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 a obtenção do título de mestre.

APROVADA em 31 de julho de 2012.

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein UFLA

Dra. Maria Alves Ferreira UFLA

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva
Orientador

LAVRAS – MG

2012

Aos meus pais, a base de tudo o que eu sou e o exemplo do que eu pretendo ser.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), onde passei sete dos melhores anos da minha vida.

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

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

Ao professor Dr. José Reinaldo Moreira da Silva, pela orientação no decorrer do trabalho e disponibilidade para ajudar sempre que preciso e aos professores Dr. Paulo Fernando Trugilho e Dr. Paulo Gherardi Hein, pelo apoio ao trabalho nos momentos em que precisei.

Aos Srs. Ricardo Carvalho de Moura, David Evandro Fernandes, José Carlos de Oliveira Jr. e Hugo Gonçalves Menezes, da Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda., que abriram as portas para a realização desse trabalho e deram todo o apoio necessário.

À Montana Química S. A., na figura dos Srs. Dulcídio Ramires Macedo, Humberto Tufolo Neto e Jackson Marcelo Vidal, pela disponibilidade e apoio na realização de análises fundamentais para esse trabalho.

Aos meus familiares e a todos os atuais e ex-moradores da República Pirambeira, pelos momentos impossíveis de serem esquecidos.

À Thaís, minha grande companheira, nas horas boas e ruins, por tudo o que já passamos juntos.

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da classe diamétrica e da umidade sobre a penetração e retenção de CCA-C (Arseniato de Cobre Cromatado tipo C) na madeira de clone de *Eucalyptus urophylla* preservada em autoclave. Foram utilizados 36 moirões pertencentes às classes diamétricas de 7, 9, 11 e 13 cm, que foram separados a três tempos de secagem ao ar livre: 20, 40 e 70 dias. Para caracterização da madeira por classe diamétrica foram determinados a densidade básica; o percentual de alburno; o volume tratável; o comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras; o diâmetro, frequência e área ocupada pelos vasos; o teor de lignina total e extrativos totais; além dos valores de umidade pré-tratamento, geral e apenas do alburno. Após a preservação em autoclave foi feito o controle de qualidade do tratamento preservativo, por meio das análises de penetração e retenção do CCA-C. Em geral, a penetração da solução preservante foi considerada profunda e regular no alburno, independente da classe diamétrica e do tempo de secagem. A retenção nos moirões da classe de 7 cm foi superior ao das classes de 9, 11 e 13 cm, que não variaram estatisticamente entre si. O aumento do tempo de secagem de 20 para 40 dias proporcionou aumento significativo na retenção média de 5,70 para 6,67 kg I.A.*m⁻³. A variação das características anatômicas e químicas, além da densidade, percentual de alburno e volume tratável, entre classes diamétricas, quando ocorreram, não contribuíram para explicar a variação dos valores de retenção de CCA-C. Já as variações médias das umidades geral e do alburno se mostraram significativas com a variação da retenção, apresentando boa correlação entre os fatores. A correlação entre a umidade geral e a retenção de CCA-C foi mais forte que a correlação entre a umidade do alburno e a retenção.

Palavras-chave: Preservação da madeira. Qualidade. Processamento.

ABSTRACT

It was aimed to assess the effects of diameter class and moisture over penetration and retention of CCA-C (Chromated Copper Arsenate type C) on a *Eucalyptus urophylla* clone wood preserved in autoclave. 36 fence posts were used, belonging to the diameter classes of 7, 9, 11 and 13 cm, which were separated to three outdoor drying times: 20, 40 and 70 days. For wood characterization per diameter class, were determined basic density; sapwood percentage; treatable volume; the length, width, wall thickness and diameter of the fiber lumen; average vessel diameter, frequency and area occupied by vessels; the total lignin content and total extractives content; besides the pretreatment moisture values, general and only sapwood. After the preservation in autoclave, the treatment quality control was made, by analyzing the CCA-C preservative penetration and retention. In general, the penetration of preservative solution was considered deep and regular into the sapwood, regardless of diameter class and drying time to which the wood was submitted. Retention in fence posts of the 7 cm class was higher than those of 9, 11 and 13 cm classes, which did not vary statistically between themselves. The increase in drying time from 20 to 40 days resulted in significant increase in average retention of CCA-C by fence posts, from 5.70 to 6.67 kg A.I.*m⁻³. The variation of anatomical and chemical characteristics, in addition to the density, sapwood percentage and treatable volume, between the diameter classes, when they occurred, have not contributed to explain the retention values of CCA-C. The variations of the general moisture and the sapwood one showed significant variation with the retention, showing good correlation between the factors. The correlation between the fence posts general moisture and retention of CCA-C was stronger than the correlation between sapwood moisture and retention.

Keywords: Wood preservation. Quality. Processing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Caracterização da madeira	12
2.1.1	Anatomia da madeira	12
2.1.1.1	Elementos macroscópicos	12
2.1.1.2	Elementos microscópicos	14
2.1.2	Densidade da madeira	16
2.1.3	Umidade	17
2.1.4	Composição química da madeira	19
2.2	Preservação de madeiras	20
2.2.1	Técnicas de preservação	21
2.2.2	Produtos Preservativos	23
2.2.3	CCA	25
2.3	Controle de qualidade da madeira preservada	27
2.3.1	Penetração	28
2.3.2	Retenção	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Amostragem pré-tratamento	31
3.2	Densidade básica	32
3.3	Análise química	33
3.4	Análise anatômica	34
3.5	Percentual de alburno e volume tratável	35
3.6	Umidade	35
3.7	Tratamento preservativo	36
3.8	Ensaio de penetração do CCA	37
3.9	Ensaio de retenção do CCA	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Anatomia qualitativa	42
4.2	Anatomia quantitativa	44
4.2.1	Dimensões das fibras	44
4.2.2	Dimensões dos vasos	45
4.3	Densidade básica do alburno	46
4.4	Umidade	47
4.5	Composição química do alburno	50
4.6	Percentual de alburno e volume tratável	51
4.7	Penetração	53
4.8	Retenção	56

4.9	Correlações entre retenção de CCA-C e características da madeira	59
5	CONCLUSÕES.....	65
6	RECOMENDAÇÕES.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICES.....	76

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a lei federal nº 4.797, de 20 de outubro de 1965, torna obrigatório o uso de madeira preservada em serviço de utilização pública em todo o território nacional, quando as mesmas forem passíveis de tratamento (BRASIL, 1965). Além desses usos obrigatórios como postes, cruzetas e dormentes, a madeira tratada é utilizada principalmente no setor rural, para moirões, estacas e instalações rurais.

Existem aproximadamente 300 usinas de preservação de madeira no Brasil, porém aproximadamente 33% da capacidade instalada encontra-se ociosa. A madeira de *Eucalyptus* é utilizada em grande volume, principalmente na forma roliça, e a madeira de *Pinus*, por sua vez, têm ocupado um espaço cada vez maior na produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2012). Portanto trata-se de um mercado com grande potencial e carente de pesquisas para impulsionar seu desenvolvimento.

Em geral, existe necessidade do tratamento preservativo das madeiras de *Eucalyptus* devido à sua baixa durabilidade natural contra a ação de organismos xilófagos.

A escolha do método ou processo de tratamento e do produto preservativo a ser utilizado são fatores que irão afetar o tratamento preservativo, porém há um terceiro fator, de fundamental importância, que são as características da madeira. Sendo assim, a variação das características da madeira e sua influência na preservação devem ser tema de estudos mais específicos.

As empresas produtoras de madeira tratada devem atender a normas e padrões de qualidade para comercialização dos produtos. Entre esses padrões estão a retenção e penetração do produto preservativo utilizado. A penetração,

para processos industriais, deve atingir 100% do alburno ou porção permeável da madeira; já para a retenção de preservativos, existem valores mínimos exigidos de acordo com o uso e grau de exposição das peças.

Para a indústria de preservação de madeiras é importante se trabalhar com valores de retenção o mais próximo possível do mínimo exigido, garantindo assim a qualidade da madeira tratada e economia na produção. Porém, as empresas têm encontrado dificuldades em controlar a retenção nas toras. Ou seja, peças tratadas em uma mesma batelada na autoclave apresentam variação na retenção do preservativo, o que pode resultar em madeiras comercializadas com valores de retenção abaixo do mínimo exigido pelas normas brasileiras.

Estudos que permitam uma diminuição do consumo de preservante no processo de tratamento, sem comprometer a qualidade do produto final e atendendo às normas são muito importantes, não somente do ponto de vista econômico, mas também ambiental. Assim, esse trabalho se justifica pela necessidade de avaliar os fatores que afetam a retenção e penetração do produto preservativo na madeira.

Avaliar os efeitos da classe diamétrica e da umidade na penetração e na retenção de CCA-C (Arseniato de Cobre Cromatado tipo C) na madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* preservado em autoclave.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização da madeira

2.1.1 Anatomia da madeira

A anatomia da madeira é de fundamental importância para melhor compreensão da tratabilidade, fornecendo subsídios que permitam auxiliar a indicação de um tratamento adequado (SALES-CAMPOS; VIANEZ; MENDONÇA, 2003).

Segundo Oliveira (1997), as madeiras de *Eucalyptus* apresentam uma estrutura anatômica bastante homogênea, em nível morfológico. Em nível quantitativo, entretanto, ocorre significativa variação nas dimensões de seus elementos anatômicos, entre espécies e dentro de uma mesma árvore.

2.1.1.1 Elementos macroscópicos

A estrutura macroscópica da madeira é aquela visível a olho nu ou, no máximo, com o auxílio de lentes de dez vezes de aumento. Em uma seção transversal típica de um tronco pode-se observar essa estrutura (Figura 1).

O xilema é o tecido estrutural da madeira e ocupa grande parte de sua extensão. É constituído por um conjunto de células com forma e função diferenciadas, atua também como o principal tecido condutor de líquidos na madeira. Por essa razão, torna-se de extrema importância o estudo desse tecido para o processo de preservação.

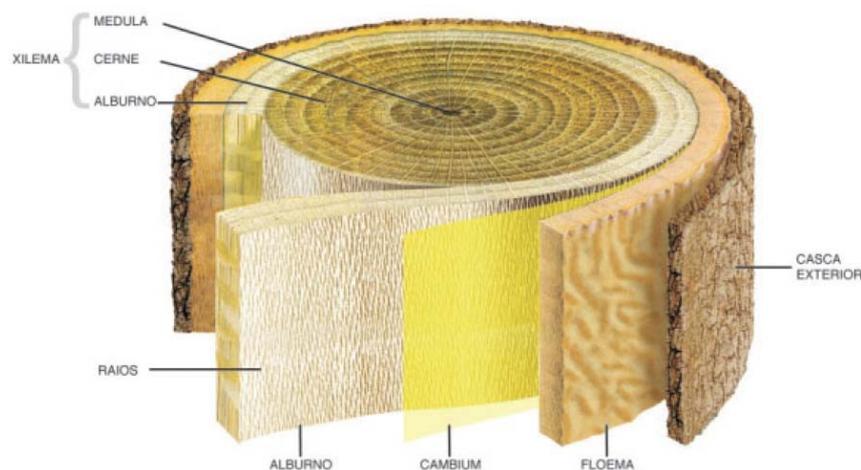


Figura 1 Desenho da seção transversal típica de um tronco
 Fonte: Gonzaga (2006).

O alburno, formado a partir do câmbio vascular, trata-se da porção externa, mais jovem e funcional do xilema. Possui células vivas e tem como função principal a condução ascendente de líquidos. Também armazena água e substâncias nutritivas tais como amido, açúcares, óleos e proteínas. Sua proporção varia entre espécies e dentro da espécie devido à idade e fatores genéticos e ambientais.

O alburno possui baixa resistência ao ataque de fungos e insetos, porém é consenso na literatura que ele corresponde à área tratável da madeira de *Eucalyptus*. A sua permeabilidade é facilitada pela presença de pontoações funcionais não incrustadas e pelo baixo teor de extrativos.

Embora algumas espécies não apresentem diferenças macroscópicas entre cerne e alburno, o cerne está presente em todas as árvores, após certa idade (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

O cerne constitui a camada interna e mais antiga do lenho. Possui a função de suporte estrutural para a árvore. Sua proporção em relação ao alburno aumenta com o avanço da idade da árvore. Devido às transformações

decorrentes do processo de cernificação, o cerne é a região da madeira fisiologicamente inativa e mais resistente ao ataque de organismos xilófagos, além de se tornar praticamente impermeável à penetração de soluções preservantes. Silva et al. (2010) demonstraram que a permeabilidade do cerne foi nula, ou muito próxima de zero, trabalhando com duas espécies de *Eucalyptus*.

Oliveira (1997) afirmou que a quantificação da relação cerne/alburno é muito importante do ponto de vista tecnológico. Diferentes proporções de cerne e alburno podem proporcionar diferentes retenções e penetrações do preservativo na madeira.

2.1.1.2 Elementos microscópicos

As folhosas (Angiospermas, Dicotiledôneas) apresentam madeira com constituição anatômica heterogênea e complexa, quando comparada às coníferas (Gimnospermas). A madeira das folhosas é constituída basicamente de fibras, parênquima axial, raios e vasos (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; TSOUMIS, 1991). Enquanto a das coníferas é constituída prioritariamente por traqueídes.

Os vasos exercem função importante, pois constituem a principal via de eliminação e penetração de líquidos na madeira de folhosas. A penetração de preservativos ao longo dos vasos, no entanto, pode ser reduzida consideravelmente quando há ocorrência de tilos no seu interior (SIAU, 1984). Segundo Hunt e Garratt (1967), além da dependência dos vasos estarem desobstruídos, a efetividade da penetração dos preservativos na madeira das folhosas depende também do seu tamanho, frequência e distribuição. Foelkel (2007) afirmou que o comprimento do elemento de vaso não é de suma importância para a condução de líquidos, mas seu diâmetro sim. Isso porque a

área do vaso se relaciona de forma quadrática com seu diâmetro. Ainda segundo o autor, as dimensões e a frequência dos vasos variam com as espécies, com os clones e com as diferenças de ambientes em que crescem as árvores.

O papel dos raios no processo de impregnação da madeira com preservantes é difícil de ser definido devido à grande variabilidade dessas estruturas (HUNT; GARRATT, 1967; BEHR et al., 1969). Siau (1971), em uma representação esquemática da fluência de líquido em madeiras de folhosas, enfatizou os raios como importantes vias de penetração. No entanto, Silva et al. (2010), não encontraram fluxo de líquido ou de ar na direção radial, tanto no cerne quanto no alborno, de duas espécies de *Eucalyptus*. Sales-Campos, Vianez e Mendonça (2003), estudando a madeira preservada de *Brosimum rubescens* e Rudman (1965), trabalhando com diferentes líquidos e espécies de *Eucalyptus*, também chegaram à conclusão de que, sob condições normais de tratamento, o raio mostrou-se ineficiente quanto à condução do preservante na madeira, ocorrendo penetração apenas nas células de raio adjacentes aos vasos. Rudman (1965) explica esse comportamento pelo fato de que as células parenquimáticas do raio, em algumas espécies de folhosas, como nos *Eucalyptus*, normalmente contém quantidades relativamente grandes de gomas e outros extrativos, dificultando assim o fluxo de preservativos no sentido transversal da madeira.

As fibras constituem a maior parte do tecido lenhoso da maioria das folhosas e possuem como função fundamental o suporte mecânico. Hunt e Garratt (1967) relataram que as mesmas não são importantes na penetração inicial de solução preservante, embora sua permeabilidade relativa possa exercer notável influência na extensão subsequente dos líquidos provenientes dos vasos e de outros pontos possíveis de concentração. Os autores ponderaram que, em algumas madeiras, as fibras podem assumir papel mais importante que os vasos na dispersão do preservante, quando estes apresentam obstruções por tiloses.

Sales-Campos, Vianez e Mendonça (2003) evidenciaram a importância das fibras ao observar a penetração do produto na madeira em análise microscópica, após a preservação.

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

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. Kollmann e Côté (1968) demonstraram que as variações da densidade se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume.

Quase sempre a densidade da madeira se apresenta correlacionada com a retratibilidade, secagem, trabalhabilidade, impregnabilidade, durabilidade natural e a várias propriedades mecânicas da madeira (CHIMELO, 1980;

GÉRARD et al., 1995). Tamblyn (1978) ressalta ainda, que para espécies de *Eucalyptus*, aquelas classificadas como sendo de alta densidade, geralmente possuem maior durabilidade natural.

Santini (1988) explica que a densidade da madeira indica a quantidade aproximada de massa celular existente na sua estrutura ou o volume de espaços vazios disponíveis para conter líquidos. Em madeira seca de baixa densidade, espera-se que o preservativo penetre com mais facilidade. Todavia, não existe uma correlação geral entre densidade e a penetração obtida, principalmente devido às diferenças existentes entre as várias espécies. Algumas madeiras, embora com valores de densidade semelhantes, apresentam graus de impregnação diferentes. As razões para essa falta de correlação, em alguns casos não são muito claras, mas em geral podem ser atribuídas às diferenças anatômicas existentes entre espécies.

2.1.3 Umidade

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

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 estruturada 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 na faixa de 22 a 30%, dependendo da espécie.

Quando a madeira úmida é exposta ao ambiente, ela tende a perder rapidamente a água livre existente em seu interior para, a seguir, perder a água adsorvida mais lentamente. A umidade da madeira tende a um equilíbrio em função da umidade e temperatura do ambiente em que se encontra.

Shupe et al. (1995) afirmaram que as maiores diferenças entre a secagem das madeiras de folhosas e coníferas americanas relacionam-se com as diferenças da umidade do cerne e do alburno; as coníferas possuem o cerne com umidade muito inferior ao do alburno, ao contrário das folhosas, com alta umidade no cerne, embora essa relação seja altamente variável.

Lepage (1986a) e Santini (1988) explicam que a umidade da madeira afeta sua tratabilidade, 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 se atinja a retenção de preservativo desejada.

A umidade que a madeira deve apresentar para que a penetração e a retenção do preservativo sejam satisfatórias varia, basicamente, com o método de tratamento e tipo de preservativo utilizado. Por exemplo, para processos caseiros como difusão e substituição de seiva a madeira deve ser utilizada verde,

já para processos industriais, que utilizam pressão, é recomendado pela literatura o uso de madeira seca (umidade abaixo do PSF).

2.1.4 Composição química da madeira

A madeira é um material orgânico, e os seus constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades. Sua composição química é caracterizada pela presença de componentes estruturais e acidentais.

Os componentes estruturais caracterizam a madeira, por ser parte integrante da parede das fibras e da lamela média. São considerados componentes estruturais: a celulose, as hemiceluloses e a lignina (BROWNING, 1963). O conjunto da celulose e das hemiceluloses compõe o conteúdo total de polissacarídeos contidos na madeira e é denominado holocelulose (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Já os componentes chamados acidentais podem ser divididos em orgânicos: extrativos, solúveis em água, solventes orgânicos etc.; e inorgânicos: minerais ou cinzas. Os extrativos atuam como componentes complementares, mas também têm reconhecida importância em várias situações, como na durabilidade natural da madeira. Presentes em menor quantidade estão as cinzas ou minerais, substâncias inorgânicas provenientes do solo, que também são encontradas em várias espécies. Especificamente para *Eucalyptus*, as cinzas geralmente correspondem de 0,1 a 1% da massa seca das madeiras.

Quanto ao papel desses componentes na preservação da madeira, a literatura demonstra que a composição química da madeira, principalmente o tipo e teor de lignina e extrativos, influenciam na fixação dos preservativos.

A lignina é considerada um sítio primário para a ligação de complexos de cromo, de modo que um maior teor de lignina pode resultar em um melhor tratamento (HAYES; CURRAN; HYNES, 1994). Segundo Lebow (1996), e

Daniel e Nilsson (1987), a micro distribuição do cobre e outros metais na madeira parece seguir o mesmo padrão da lignina, uma vez que hidroxilas fenólicas da lignina e alguns extrativos reagem com o cobre e o cromo.

Kartal e Lebow (2000), avaliando o efeito da madeira de compressão na lixiviação do preservativo da madeira de *Pinus resinosa*, mostraram que as diferenças na estrutura da madeira e na composição química, mesmo entre o alburno de uma mesma árvore, podem afetar significativamente a fixação e lixiviação do CCA-C. De acordo com os autores, os componentes do CCA, especialmente cobre e cromo, reagiram e formaram complexos com o maior teor de lignina das madeiras de compressão, reduzindo assim a taxa de lixiviação.

Já o papel dos extrativos é difícil de ser definido, devido à grande variação existente na quantidade e composição química dos mesmos. Porém, segundo Radivojevic e Cooper (2007), acredita-se que os extrativos prejudicam a qualidade de fixação do CCA-C. Trabalhando com espécies de álamo, pinus e acer, esses autores concluíram que os extrativos prejudicaram a qualidade da fixação do CCA-C na madeira de Acer vermelho.

2.2 Preservação de madeiras

A preservação de madeiras pode ser definida, de forma abrangente, como o conjunto de produtos, métodos, técnicas e pesquisas destinadas a alterar, medir ou estudar a durabilidade da madeira; porém, usualmente, é entendida como a aplicação de produtos químicos visando impedir a degradação física, química ou, principalmente, a deterioração biológica do material madeira (JANKOWSKY; BARILLARI; FREITAS, 2002).

2.2.1 Técnicas de preservação

As técnicas de preservação de madeiras podem ser divididas em preservação natural, indireta, biológica e química. Moraes (1996) conceitua como preservação natural a utilização da madeira de forma a evitar a ação dos agentes deterioradores, protegendo-a do contato com o solo e das fontes de umidade. A preservação indireta refere-se a cuidados a serem tomados no local onde a madeira será usada, como por exemplo, tratamento químico do solo; enquanto que a preservação biológica envolve o uso de organismos vivos ou agentes naturais na prevenção e controle do ataque de organismos xilófagos. Já a preservação química consiste na introdução de produtos químicos dentro da estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimento.

Apesar dos possíveis riscos no manuseio e uso de biocidas, a preservação química ainda é a forma mais usual e eficiente na prevenção do ataque biológico. Os métodos para aplicação dos preservantes químicos na madeira podem ou não incluir pressão superior à ambiente. Assim são classificados em processos caseiros ou sem pressão e processos industriais ou com pressão.

Os processos caseiros abrangem várias técnicas como o pincelamento, aspersão ou pulverização, imersão rápida ou prolongada, banho quente-frio, capilaridade ou substituição de seiva e processo “Boucherie”.

Os processos industriais proporcionam uma distribuição e penetração mais uniforme do preservativo na madeira. Para isso, requerem o uso de equipamentos complexos, como o cilindro ou autoclave de tratamento e equipamentos auxiliares como tanques de armazenamento e bombas de vácuo e pressão. Esses e outros equipamentos especiais compõem o que se denomina “Usina de Preservação de Madeiras”.

Segundo Santini (1988), os processos utilizados para aplicar o preservativo sob pressão na madeira geralmente são agrupados em dois tipos: célula cheia e célula vazia. O que distingue os dois tratamentos é a aplicação de um vácuo inicial no processo de célula cheia. Dessa forma, o ar presente no interior da madeira é retirado, fazendo com que o preservativo, ao ser liberado, seja sugado para o interior da madeira. Esse processo proporciona retenções mais elevadas e é o método mais utilizado para se tratar madeira sob pressão.

Dentre os métodos de célula cheia existentes, o mais utilizado atualmente pelas indústrias brasileiras é conhecido como Processo Burnett. Esse processo compreende as mesmas etapas e procedimentos gerais de outro processo muito conhecido, o Processo Bethell, com a diferença de que o produto preservativo empregado é de natureza hidrossolúvel e, geralmente, a temperatura usada é a ambiente (SANTINI, 1988).

No Processo Burnett, após o carregamento da autoclave, é dado um vácuo (pressão negativa), que retira o ar e a umidade das células da madeira. Em seguida, sem permitir a entrada de ar e com alta pressão, o líquido imunizante preenche todos os espaços vazios da autoclave e da própria madeira. Quando a madeira não admite mais preservativo, diminui-se a pressão e esvazia-se o cilindro, podendo ser aplicado um curto vácuo final para se retirar o excesso de produto (Figura 2).

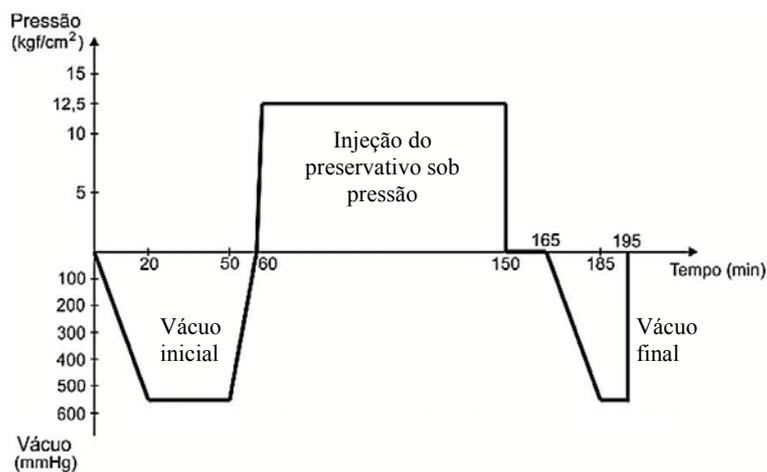


Figura 2 Representação gráfica do processo industrial de célula cheia para tratamento de madeira

Fonte: Adaptado de Evangelista (2011).

2.2.2 Produtos Preservativos

Os produtos empregados na preservação química de madeiras são designados genericamente como preservativos. De acordo com Mendes e Alves (1988), um bom preservativo para madeira deve apresentar as seguintes características:

- a) boa toxidez a organismos xilófagos;
- b) não ser volátil nem lixiviável;
- c) não se decompor nem se alterar e ter alta permanência na madeira;
- d) não ser corrosivo;
- e) não ser inflamável;
- f) não deve prejudicar as propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- g) deve ser inodoro e seguro em relação ao homem e ao meio ambiente;
- h) ter custo acessível;
- i) estar disponível no mercado.

Ainda segundo Mendes e Alves (1988), os diferentes produtos preservativos são classificados de acordo com a sua solubilização em óleo ou em água, dessa forma, podem ser óleos solúveis ou hidrossolúveis.

Considerando a indústria da preservação de madeiras, verifica-se maior importância dos preservativos hidrossolúveis, que correspondem aos produtos mais modernos e empregados atualmente. Santini (1988) descreve esses preservativos como aqueles que utilizam água como veículo, sendo constituídos, principalmente, de sais de íons metálicos. Incluem na sua formulação substâncias químicas como arsênio, cromo, boro, cobre, zinco e flúor. Os preservativos hidrossolúveis são empregados na forma de mistura (mais de uma substância química) visando assim melhorar a fixação do preservativo, reduzir os efeitos corrosivos sobre metais e proteger a madeira contra um maior número de agentes xilófagos.

Conforme dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2012), os principais ingredientes ativos registrados no órgão, para aplicação pelo método de autoclavagem são: Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C); Borato de Cobre Cromatado (CCB), base óxido e salino; Cobre Azol tipo B (CA-B); além do óleo creosoto.

Atualmente alguns países têm restringido o uso do CCA, devido à preocupação de que possa causar efeitos adversos ao ambiente e danos à saúde dos homens. A principal preocupação é quanto à lixiviação e consequente exposição do arsênio. O fato é que a literatura é muito divergente quanto aos riscos e impactos do uso de CCA. Read (2003) e Appel et al. (2006) fizeram uma revisão sobre o assunto e ambos concluíram que as pesquisas científicas ainda são inconclusivas quanto à teoria de que a exposição ao arsênio, oriundo da madeira tratada com CCA, represente risco significativo à saúde das pessoas.

2.2.3 CCA

O CCA foi introduzido no início da década de 30 e logo se tornou um dos preservativos de madeira mais usados em todo o mundo. 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 IBAMA.

Internacionalmente, são normatizadas 3 formulações de CCA, definidas como tipos A, B e C, em que variam as proporções dos componentes. Porém, atualmente apenas o CCA tipo C é registrado e liberado para comercialização na maioria dos países, incluindo o Brasil. Na formulação do CCA-C, cromo, cobre e arsênio estão presentes em 47,5%, 18,5% e 34%, respectivamente, expressos como óxidos. 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).

O tipo C é o mais usado atualmente por apresentar maior resistência à lixiviação e melhor desempenho no campo. Na literatura são relatados ensaios de campo de madeira tratada com CCA que apresentam condições de uso mesmo após períodos de exposição entre 19 e 52 anos (FREITAS, 2002; COOPER et al., 1996).

De acordo com Rudman (1965), a penetração dos preservativos na madeira é um processo de dois estágios, primeiramente ocorrendo penetração na direção longitudinal por meio dos vasos e o segundo estágio envolvendo a migração do líquido dos vasos para os tecidos circundantes. Após a penetração, têm início as reações de fixação do CCA, que pode variar de horas a dias, dependendo da situação climática do local.

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; CURRAN; HYNES, 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 das espécies de metais utilizados ainda não são completamente compreendidas (HINGSTON et al., 2001).

De forma geral, primeiramente ocorre uma fixação do cobre por troca iônica; posteriormente tem início a fixação do cromo, com a formação de complexos lignina ácido-crômico e lignina-cromato de cobre. A principal reação do processo é a redução do reativo e móvel cromo hexavalente (+VI) para cromo trivalente (+III), que é insolúvel em água. Nesta última forma, o cromo reage com o arsênio, formando CrAsO_4 . Como resultado, reações de precipitação e de formação de complexos inorgânicos na parede celular da madeira, torna o preservativo praticamente insolúvel ao meio (WONG; LAI; LIM, 2006; LEPAGE, 1986b). A Tabela 1 apresenta um esquema geral para os diferentes estágios de fixação do CCA e os respectivos produtos gerados, na qual cabe destacar a incerteza quanto aos produtos gerados em longo prazo.

Tabela 1 Esquema geral das reações de fixação do CCA

Reação	Descrição	Produtos
Inicial (minutos)	Cu^{2+} , CrO_4^{2-} Absorção na madeira	Cu^{2+} /madeira Cr^{6+} /madeira
Principal (horas/dias)	Redução do Cr^{6+}	CrAsO_4 $\text{Cu}(\text{OH})\text{CrAsO}_4$ CuCrO_4 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ Cr^{6+} /complexos da madeira Cr^{3+} /complexos da madeira Cu^{2+} /complexos da madeira
Em longo prazo	Oscilação do pH	?

Fonte: Adaptada de Murphy (1998) apud Hingston et al. (2011).

Segundo Lepage (1986b), a maioria do cobre fixado na madeira está localizada na subcamada S1 da parede celular, o que sugere a associação do cobre com a lignina, porém encontra-se cobre também associado com a celulose, provavelmente ligado aos grupos OH^- . O cromo, na forma trivalente, forma complexos com a lignina; já do total de arsênio, na madeira tratada, aproximadamente 85% reage com o cromo, e o restante forma complexos relativamente insolúveis com a lignina e a celulose.

2.3 Controle de qualidade da madeira preservada

Galvão, Barbin e Carvalho (1967) descrevem que o controle de qualidade em madeira tratada é feito, normalmente, através da determinação da retenção, da penetração e da distribuição do preservativo na madeira.

Oliveira e Lepage (1986) definem retenção e penetração como parâmetros básicos para a avaliação de eficiência do tratamento preservativo.

2.3.1 Penetração

A penetração indica a maneira pela qual o preservativo encontra-se distribuído pela peça. Santini (1988) considera que a penetração se refere à profundidade que o preservativo penetra na madeira, tanto axial como transversalmente. Normalmente é medida em mm, mas em madeiras de folhosas é considerada satisfatória quando ocorre a impregnação total do alburno. Para avaliar a penetração utilizam-se seções transversais ou discos recém-cortados das peças tratadas, ou ainda cilindros lenhosos retirados perpendicularmente à direção das fibras com auxílio de um trado especial (SANTINI, 1988).

De acordo com a NBR 6232 (ABNT, 1973) a penetração dos preservativos pode ser determinada com o auxílio de reações colorimétricas. No caso de madeiras tratadas com CCA, o teste colorimétrico mais comum consiste no uso de uma solução contendo Cromoazurol S, acetato de sódio e água, de modo que, após a aplicação, uma cor azul escura revela a presença do cobre proveniente do CCA. Já a ausência de cobre na madeira resulta em uma coloração rosa, identificando onde não foi efetiva a penetração.

Para avaliação da penetração do CCA na madeira tratada em autoclave consideram-se quatro graus de penetração, conforme proposto por Montana Química [2005?]:

- a) Penetração profunda e regular: Indica a penetração profunda e uniforme em toda a extensão do alburno;
- b) Penetração profunda e irregular: Indica a penetração profunda, mas desuniforme em toda a extensão do alburno;
- c) Penetração parcial e regular: Indica a penetração uniforme, mas não total pela extensão do alburno;
- d) Penetração parcial e irregular: Indica a penetração desuniforme e não total pela extensão do alburno.

Madeiras que não apresentam boa penetração podem ser susceptíveis ao ataque de organismos xilófagos devido ao desenvolvimento de rachaduras na fase de secagem ou após a instalação das peças (HICKIN, 1972; HUNT; GARRATT, 1967; ORBE VELALCAZAR, 1984).

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, torna-se necessário definir a retenção, ou seja, a quantidade de produto na região tratada.

2.3.2 Retenção

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 ingredientes ativos por metro cúbico de madeira tratável ($\text{kg I.A} \cdot \text{m}^{-3}$). 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.

Porém, valores adequados de retenção devem estar associados a uma boa distribuição do produto. Richardson (1978) observou uma deterioração em certas madeiras de folhosas, a despeito de altas retenções de produto. Segundo o autor, tal situação se deve a uma irregular micro distribuição dos elementos tóxicos, podendo estar presente em grandes quantidades no lume, mas não protegendo totalmente a parede celular. Por isso, para uma preservação de qualidade, é importante se conhecer as características da madeira com que se está trabalhando, aliado a um rígido controle do processo de tratamento, visando sempre ao melhor resultado da preservação.

A retenção indicada para moirões, uso em contato com o solo, é de $6,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, de acordo com a NBR 9480 (ABNT, 2009). Porém, para os outros usos, uma nova norma sobre sistema de categorias de uso para preservação de madeiras está em fase final de desenvolvimento no Brasil. Sua proposta é de fixar, para cada categoria de uso, a retenção mínima e a penetração necessária aos diferentes tipos e aplicações da madeira, levando-se em consideração o processo de tratamento e o preservativo utilizado. Maiores valores de retenção devem ser adotados em condições de exposição mais severas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi oriundo de um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla*, da empresa Plantar S. A., com 9 anos de idade, plantado em espaçamento 3 x 3 m e localizado no município de Felixlândia/MG. Durante a colheita do talhão, de forma aleatória, foram coletadas e descascadas 36 toras, que se enquadravam nas medidas para a comercialização como moirão. As peças separadas mediam 3,00 m de comprimento e pertenciam às classes diamétricas de 6,0 a 7,9; 8,0 a 9,9; 10,0 a 11,9 e 12,0 a 13,9 cm. Nesse trabalho as classes foram identificadas pelo seu valor central, ou seja, 7, 9, 11 e 13 cm, respectivamente.

Medindo-se o diâmetro no topo das toras chegou-se ao número de peças por classe diamétrica. As mesmas foram então separadas para exposição a três tempos de secagem ao ar livre, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 Número de moirões por classe diamétrica e por tempo de secagem no campo

Tempo de secagem (dias)	Classe diamétrica (cm)				Total
	7	9	11	13	
20	3	4	3	2	12
40	3	4	2	3	12
70	3	3	3	3	12
Total	9	11	8	8	36

3.1 Amostragem pré-tratamento

Para determinação da densidade básica foi retirado um disco de 5 cm em cada extremidade das toras. A seguir as toras foram encaminhadas para secagem ao ar livre no pátio de estocagem da empresa.

Ao final de cada período de secagem especificado, retirou-se um torete de 30 cm e um disco de 5 cm em cada extremidade das toras pré-determinadas para cada tempo de secagem (Figura 3). Os toretes foram utilizados para análise química e anatômica e os discos para determinação da umidade pré-tratamento, além do percentual de alburno e volume tratável.

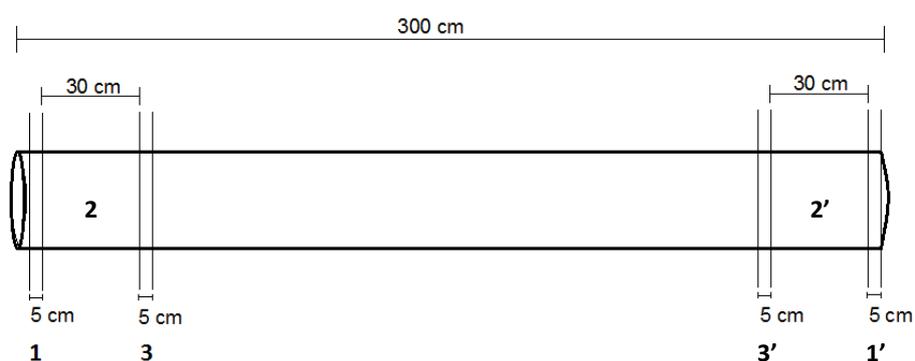


Figura 3 Amostragens pré-tratamento, para análise das características da madeira. 1 e 1': Disco para determinação da densidade básica; 2 e 2': Torete para análises química e anatômica; 3 e 3': Disco para determinação do volume tratável, percentual de alburno e umidade pré-tratamento

3.2 Densidade básica

Dos discos foram retirados corpos de prova diametralmente, medindo 2 x 2 x 5 cm. Os corpos de prova da região do alburno foram utilizados para determinação da densidade básica, pelo método de imersão em água, conforme NBR 11941 (ABNT, 2003).

3.3 Análise química

Os toretes da extremidade basal de cada tora foram utilizados para retirada de amostras para as análises química e anatômica. Para análise química retirou-se maravalhas apenas da região de alburno dos toretes em uma desempenadeira. Posteriormente retirou-se um disco da extremidade, do qual foi retirado, também na região do alburno, um corpo de prova de 2 x 2 x 3 cm, para análise anatômica (Figura 4).

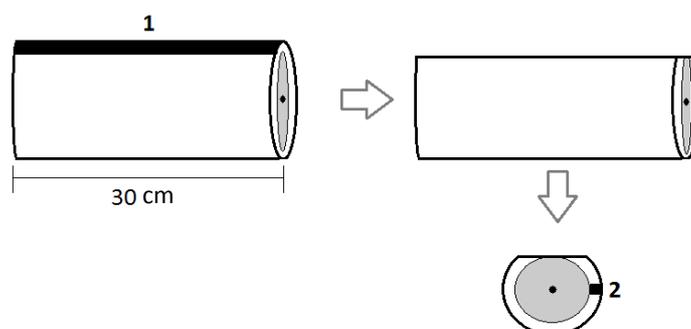


Figura 4 1. Região (alburno) de retirada de maravalhas para análise química e 2. Corpo de prova para análise anatômica

Foram determinados os teores de lignina insolúvel (Klason), pelo método descrito por Gomide e Demuner (1986) e lignina solúvel em ácido sulfúrico, por meio de espectrofotometria, utilizando-se equação descrita por Goldschimid (1971). Já os teores de extrativos totais foram determinados de acordo com a norma ABTCP M 3/69 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP, 1974).

3.4 Análise anatômica

Fragmentos dos corpos de prova foram retirados com o auxílio de um estilete, para preparo do macerado. Esses fragmentos foram colocados em recipiente de vidro com uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1 (v/v); deixando-se macerar durante 24 horas em estufa, à temperatura de 60°C, até a individualização das fibras. O material foi então lavado em água corrente e filtrado. Lâminas temporárias foram preparadas com glicerina e o material histológico corado com safranina hidroalcoólica.

Para cada corpo de prova, mediu-se 30 fibras individualmente, determinando-lhes o comprimento, largura e diâmetro do lume. Para tais medições utilizou-se um microscópio óptico Ken-A Vision modelo *TT-1010*, com aumento de 4 a 100 x, associado a uma câmera digital e o software de análise de imagem Wincell – Pro. A espessura da parede foi obtida por meio de cálculo matemático, relacionado à metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume.

Os corpos de prova foram então saturados em água e procedeu-se à montagem de lâminas permanentes. Os cortes tiveram espessura de 20 µm e foram corados com corante safranina. Depois foram lavados com hipoclorito e desidratados em sequência alcoólica (20, 50, 70, 80 e 100%), posteriormente embebidos em acetato de butila (P.A.), para retirar o excesso de corante. Finalmente foram fixados em lâminas com o adesivo Enthellan.

A descrição microscópica das lâminas obedeceu às orientações propostas pelo IAWA COMMITTEE (1989).

Utilizando-se o microscópio ótico com sistema de aquisição de imagens citado anteriormente, foi medido o diâmetro dos vasos e a frequência de vasos por milímetro quadrado. Com o objetivo de se comparar as variações de diâmetro e frequência, foi feita uma estimativa da área ocupada pelos vasos. A

partir da média dos diâmetros, calculou-se a área média ocupada pelos vasos em cada corpo de prova, esse dado foi então multiplicado pelo valor médio da frequência e convertido para percentual em um mm².

3.5 Percentual de alburno e volume tratável

Os discos retirados para determinação do percentual de alburno e volume tratável em cada classe diamétrica foram levados em sacos plásticos para o laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA, onde foram fotografados em uma mesa estativa fotográfica, utilizando-se câmera digital de 12.1 megapixels.

No software AutoCAD[®], 2010, determinou-se a área total e a área do cerne de cada disco, quando presente. A área do alburno foi calculada pela diferença entre as áreas total e do cerne. O volume médio tratável por tora foi calculado multiplicando-se a área de alburno média dos discos da base e do topo, pelo comprimento da tora (220 cm).

Após serem fotografados, esses mesmos discos foram utilizados para determinação da umidade.

3.6 Umidade

Os discos foram utilizados para determinação da umidade (pré-tratamento) em laboratório. A umidade foi determinada conforme norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Porém, 50% dos discos foram utilizados para se conhecer a umidade do alburno. Para isso, os discos foram reduzidos a corpos de prova de 2 x 2 x 5 cm (Figura 5). A posição dos mesmos no disco foi identificada e posteriormente determinada a umidade de cada corpo de prova. Assim foi possível conhecer os valores de umidade média geral e umidade do alburno, em cada classe de diâmetro.

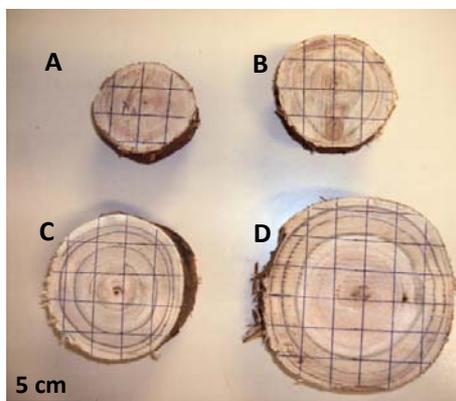


Figura 5 Discos marcados para retirada dos corpos de prova destinados à determinação da umidade. A: Classe 7 cm; B: Classe 9 cm; C: Classe 11 cm e D: Classe 13 cm

3.7 Tratamento preservativo

Ao final de cada tempo de secagem (20, 40 e 70 dias) 12 moirões foram submetidos ao tratamento preservativo, totalizando 36 moirões. Com o objetivo de representar a situação operacional das usinas de preservação, as toras foram inseridas junto a bateladas habituais da empresa Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda. O processo utilizado é descrito a seguir:

- 1 Carregamento da autoclave;
- 2 Vácuo inicial de 550 mmHg durante 30 minutos;
- 3 Injeção do preservativo sob pressão (12 kgf/cm²) durante 60 minutos;
- 4 Vácuo final de 550 mmHg durante 15 minutos.

O produto preservativo utilizado foi o CCA 60% tipo C (Osiose K33 C 60, da Montana Química S.A.). Nos tratamentos após 20 e 40 dias de secagem utilizou-se a concentração da solução de 1,7%, já no tratamento após 70 dias de secagem a concentração teve seu valor alterado para

1,5%, devido a fatores operacionais da empresa. Todo o processo ocorreu à temperatura ambiente.

Após o tratamento as toras foram novamente transportadas para o pátio de estocagem ao ar livre, sem cobertura. Vinte dias após o último tratamento, período suficiente para a ocorrência das reações de fixação do preservante foi realizada a amostragem para o controle de qualidade da madeira preservada.

3.8 Ensaio de penetração do CCA

A análise de penetração foi feita por meio de reação colorimétrica com Cromoazurol S, conforme NBR 6232 (ABNT, 1973). Em seções recém-cortadas na metade do comprimento das toras a solução foi pulverizada por toda a superfície transversal exposta e, após secagem, a seção foi fotografada para avaliação da penetração.

Na avaliação da penetração do CCA-C na madeira foram considerados graus de penetração, conforme padrões propostos por Montana Química [2005?].

3.9 Ensaio de retenção do CCA

Para a análise de retenção foram retiradas cinco baguetas por tora, sempre de posições a, no mínimo, 50 cm do topo e da base das toras. Para tanto utilizou-se uma furadeira e broca extratora com 13 mm de diâmetro e aproximadamente 53 mm de comprimento. As baguetas retiradas apresentavam diâmetro de 12,5 mm e comprimento igual ou superior à espessura do alburno.

Iniciou-se então a preparação dos corpos de prova para a determinação dos ingredientes ativos por Espectrometria de Raios-X. As baguetas foram acondicionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas. No

laboratório, utilizando-se um formão, tiveram suas extremidades ajustadas para o formato de um cilindro. Aquelas que apresentavam algum pedaço de cerne tiveram os mesmos extraídos.

Utilizando-se um paquímetro digital foram medidos comprimento e diâmetro das baguetas, sendo então calculado o volume de cada uma.

Após secagem em estufa a $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 3 horas, foi determinada a massa de cada bagueta. De posse do volume e da massa seca, foi calculada a densidade aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), de modo que a média dos valores das cinco baguetas foi considerada como a densidade aparente do moirão tratado. Valor utilizado no cálculo de retenção.

Na empresa Montana Química S.A. foi feita a moagem das cinco baguetas de cada moirão em um moinho Tipo Willye, modelo TE-680. As mesmas foram moídas por três vezes e então foi coletado e identificado, por moirão, o material com granulometria inferior a 30 mesh. Esse material foi transferido para cubetas plásticas de 2,5 cm de diâmetro externo, montadas com filme Mylar para Raio-X, até preencher metade da cubeta. Para a determinação dos ingredientes ativos utilizou-se um Espectrômetro de Raio-X Shimadzu – EDX-720. A retenção, em $\text{kg I.A}\cdot\text{m}^{-3}$, corresponde aos componentes ativos do produto preservativo por unidade de volume de madeira preservada.

Para o cálculo da retenção foi utilizada a Equação 1.

$$R = LE \cdot \rho \cdot 10 \quad (1)$$

em que,

R = Retenção, em $\text{kg I.A}\cdot\text{m}^{-3}$,

LE = Leitura obtida no equipamento e

ρ = Densidade aparente média, em $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Os cálculos são feitos para os componentes do CCA-C individualmente: cromo, cobre e arsênio. Assim, a retenção total corresponde à somatória das retenções individuais, como demonstrado no Apêndice C.

Na realização desse trabalho foram realizadas diferentes etapas de amostragem e análises do material. Para tanto, utilizadas diferentes quantidades e tipos de corpos de prova. Na Tabela 3 encontra-se um resumo das análises realizadas com a descrição dos seus respectivos corpos de prova. Já na Figura 6 encontra-se um fluxograma com resumo das atividades realizadas.

Tabela 3 Apresentação e número de corpos de prova de cada propriedade analisada

Propriedades	Apresentação do corpo de prova	Número de corpos de prova
Densidade básica	2 x 2 x 5 cm	144
Análise química	Pó	72
Análise anatômica	Lâmina histológica	108
Percentual de alburno e volume tratável	Disco	72
Umidade geral	Disco	36
Umidade do alburno	2 x 2 x 5 cm	180
Penetração do CCA-C	Moirão	36
Retenção do CCA-C	Bagueta	180

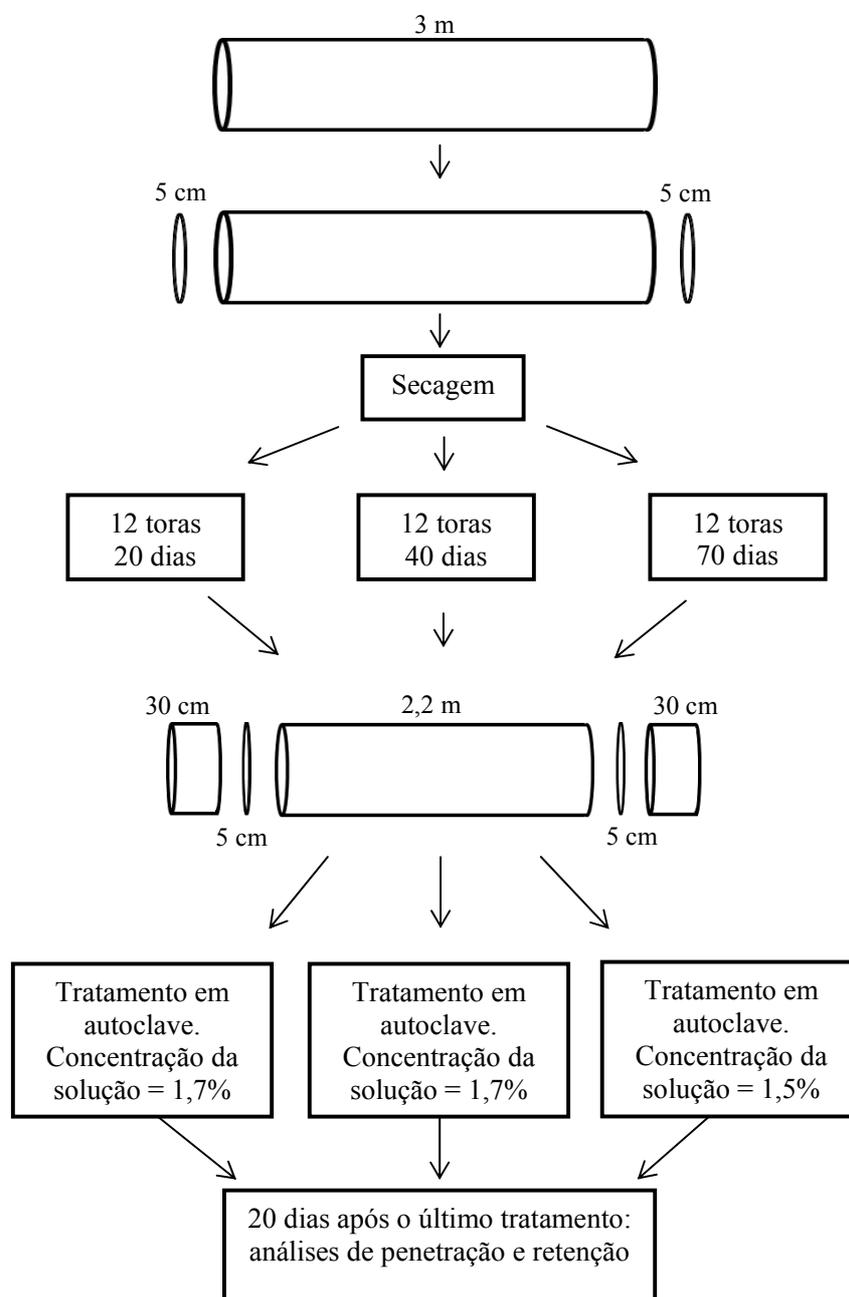


Figura 6 Fluxograma com resumo das atividades realizadas

3.10 Delineamento experimental e análise estatística

A coleta de dados do experimento obedeceu a um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), disposto em arranjo fatorial. Dessa forma, para análise estatística de cada característica da madeira avaliada, utilizou-se a análise de variância, a 5% de significância, considerando os efeitos de classe diamétrica, tempo de secagem e interação entre esses fatores. Quando a análise se mostrou significativa, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de significância.

Devido à diminuição na concentração da solução ocorrida no tratamento das peças com 70 dias de secagem, foram feitas análises de variância separadas: I) com todos os dados e II) excluindo-se os dados referentes ao tempo de secagem de 70 dias. Porém foi verificado que as variações entre os resultados das duas análises não foram significativas, de modo que se decidiu trabalhar com os resultados referentes aos três tempos de secagem.

Os resumos das análises de variância são apresentados para as variáveis umidade geral, umidade do alburno e retenção, uma vez que essas estão sujeitas aos efeitos da classe diamétrica, do tempo de secagem e da interação entre eles. As demais variáveis analisadas nesse trabalho são características da madeira, que não sofrem influência do tempo de secagem, portanto são apresentadas apenas as comparações entre as médias por classe de diâmetro.

Para avaliação das correlações entre as características da madeira e a retenção de CCA-C na madeira, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson e o teste t de Student, a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

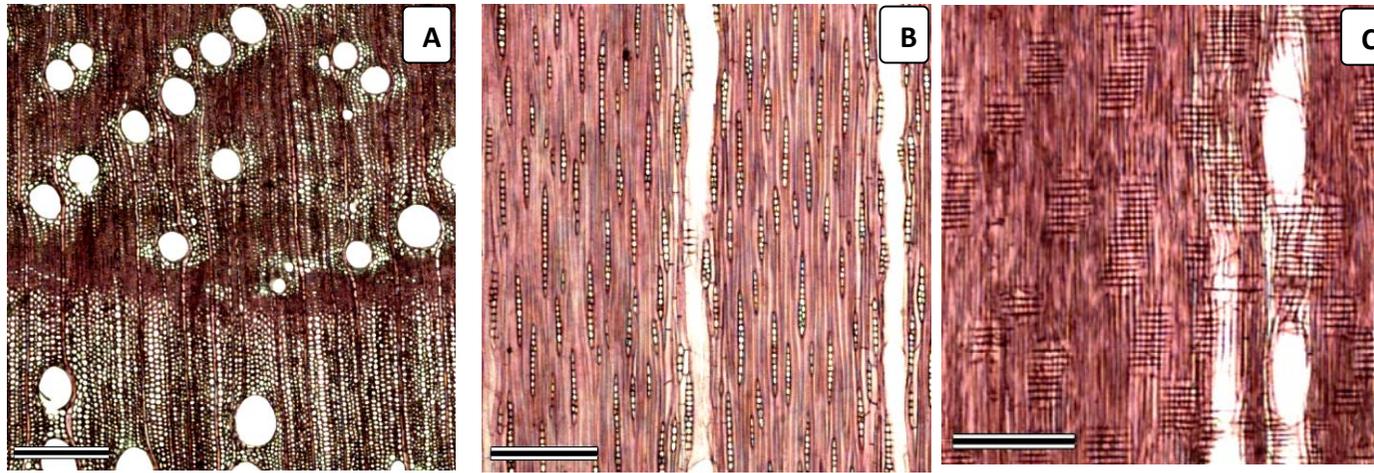
4.1 Anatomia qualitativa

Verificou-se uma homogeneidade da estrutura anatômica presente nas diferentes classes diamétricas. Fato que era esperado, pois conforme observou Alfonso (1987), as madeiras de *Eucalyptus* possuem estrutura anatômica homogênea, com pouca variação entre amostras de uma mesma espécie.

Descrição anatômica qualitativa do alborno de *Eucalyptus urophylla*:

- a) Madeira com anéis de crescimento em faixas distintas, caracterizados pela transição abrupta ou gradual do lenho tardio para o lenho inicial, com as fibras do lenho tardio apresentando maior espessura da parede e menor diâmetro do lume em relação ao lenho inicial;
- b) Vasos com porosidade difusa, porém quando ocorre transição abrupta do lenho tardio para o lenho inicial, há uma concentração de vasos de menor diâmetro no final do lenho tardio. Os vasos apresentam predominantemente arranjo em padrão diagonal e são considerados exclusivamente solitários (90% ou mais). Não foi observada a presença de tilose;
- c) Presença de placa de perfuração simples e pontoações rádio-vasculares com aréolas bem reduzidas até aparentemente simples;
- d) As fibras apresentam pontoações simples ou areoladas diminutas;
- e) Parênquima axial predominantemente vasicêntrico, podendo ocorrer também paratraqueal unilateral e confluyente, devido à proximidade de alguns poros;
- f) Raios apresentam-se exclusivamente unisseriados, com o corpo das células procumbentes e uma fila de células marginais quadradas.

Os três planos anatômicos de observação da madeira estão representados na Figura 7.



Escala = 300µm

Figura 7 Imagens dos cortes nos planos anatômicos do albúrcno de um clone de *Eucalyptus urophylla*.
A: Seção transversal; B: Seção longitudinal tangencial e C: Seção longitudinal radial

4.2 Anatomia quantitativa

4.2.1 Dimensões das fibras

O comprimento das fibras apresentou maior variação, com uma tendência de aumento do mesmo com o aumento do diâmetro da madeira. A largura das fibras também apresentou comportamento semelhante, porém com diferença significativa apenas entre as madeiras das classes de 7 e 13 cm. O diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras não variaram significativamente entre as classes de diâmetro (Tabela 4).

Tabela 4 Comparações múltiplas das médias de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Fibras			
	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura da parede (μm)
7	0,82 a (7,07)	17,02 a (3,68)	8,26 ns (7,26)	4,39 ns (5,72)
9	0,90 b (4,66)	18,14 ab (9,00)	8,86 (19,93)	4,60 (9,00)
11	0,97 c (4,69)	18,53 ab (8,76)	9,22 (27,45)	4,63 (11,93)
13	1,02 c (6,59)	19,56 b (5,72)	10,35 (9,73)	4,64 (6,54)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

ns = não significativo, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

As fibras podem ser classificadas (IAWA COMMITTEE, 1989) como fibras curtas, com paredes finas à espessas. Em geral as fibras apresentaram dimensões ligeiramente inferiores àqueles encontrados na literatura para

madeiras da mesma espécie (LIMA et al., 2007; EVANGELISTA et al., 2010a; EVANGELISTA, 2011). Fato compreensível pelo pequeno diâmetro das toras utilizadas, pois conforme demonstrado por Bhat, Bhat e Dhamodaran (1990); Trugilho, Lima e Mendes (1996); Rocha, Florsheim e Couto (2004) e Florsheim et al. (2009), características anatômicas, como o comprimento das fibras, decrescem da base para o topo das árvores.

4.2.2 Dimensões dos vasos

Os valores de diâmetro e frequência de vasos apresentaram relação inversamente proporcional e foram iguais estatisticamente entre as madeiras das classes de 9, 11 e 13 cm, com estas sendo diferentes da classe de 7 cm. No entanto, a área ocupada pelos vasos não diferiu estatisticamente entre as quatro classes avaliadas (Tabela 5).

O valor médio de 11,17% de área ocupada pelos vasos na madeira foi inferior ao encontrado por Evangelista (2011) para a mesma espécie, porém está de acordo com o exposto por Foelkel (2007), de que, na maioria das espécies comerciais e clones de *Eucalyptus*, a área ocupada por vasos no volume da madeira está entre 10 a 20%.

A manutenção do valor da área ocupada pelos vasos, apesar da variação no diâmetro e frequência dos mesmos, sugere uma compensação da árvore para manter o fluxo de líquidos no seu interior. Entretanto, não foi encontrada na literatura informações sobre a melhor relação entre penetração e retenção do preservativo na madeira em função do diâmetro e frequência dos vasos.

Tabela 5 Comparações múltiplas das médias de diâmetro, frequência e área ocupada pelos vasos, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Vasos		
	Diâmetro (μm)	Frequência (vasos $\times \text{mm}^{-2}$)	Área ocupada (%)
7	99,66 a (10,18)	13,78 a (15,30)	10,73 ns (19,09)
9	109,23 b (4,81)	11,72 b (10,15)	10,94 (7,98)
11	115,72 b (3,98)	11,00 b (6,87)	11,58 (9,59)
13	117,30 b (3,20)	10,44b (5,09)	11,31 (9,98)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

ns = não significativo, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os resultados referentes às dimensões dos vasos estão de acordo com os valores e tendência apresentados pela literatura (FLORSHEIM et al., 2009; EVANGELISTA et al., 2010a; EVANGELISTA et al., 2010b).

4.3 Densidade básica do alburno

A amplitude das classes diamétricas utilizadas não foi suficiente para se chegar a valores de densidade básica do alburno estatisticamente diferentes entre si. Pode-se afirmar que, para as classes diamétricas avaliadas, o alburno do clone em estudo apresenta uma densidade básica média de $0,481 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Tabela 6).

Tabela 6 Estatística descritiva dos valores de densidade básica, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Densidade básica (g*cm ³)				Número de observações
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	
7	0,470	0,366	0,539	10,80	9
9	0,482	0,436	0,535	7,01	11
11	0,487	0,425	0,531	6,81	8
13	0,484	0,434	0,527	6,71	8

Os valores de densidade básica foram menores que os encontrados por Brito e Barrichelo (1977), Pereira et al. (2000) e Evangelista (2011), esse último trabalhando apenas com alburno, contudo estão dentro da amplitude encontrada por Scanavaca Júnior e Garcia (2004) e Trugilho et al. (2007) para a espécie em questão.

4.4 Umidade

A variação da umidade geral dos moirões foi significativa entre classes diamétricas e entre tempos de secagem. Já a umidade do alburno diferiu estatisticamente apenas entre os tempos de secagem. A interação dos fatores não foi significativa para nenhuma das umidades (Tabela 7).

Tabela 7 Resumo da ANOVA para a umidade geral e umidade do alburno de moirões de um clone de *Eucalyptus urophylla*

Fonte de Variação	Umidade geral		Umidade do alburno	
	GL	QM	GL	QM
Classe diamétrica	3	727,78*	3	19,98
Tempo de secagem	2	1450,51*	2	830,45*
Classe x Tempo	6	20,47	6	10,47
Resíduo	24	9,13	24	6,70
Total	35		35	

* = significativo a 5% de significância.

As comparações múltiplas entre classes diamétricas e entre tempos de secagem, para os valores de umidade geral dos moirões e umidade do alburno dos mesmos são apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 Comparações múltiplas das médias de umidade geral e umidade do alburno dos moirões, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Umidade (%)	
	Geral	Alburno
7	19,24 a (46,83)	19,24 ns (46,83)
9	25,53 b (32,33)	22,60 (38,84)
11	33,87 c (36,09)	21,55 (28,64)
13	40,45 d (26,78)	21,93 (28,78)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

Tabela 9 Comparações múltiplas das médias de umidade geral e umidade do alburno dos moirões, por tempo de secagem

Tempo de secagem (dias)	Umidade (%)	
	Geral	Alburno
20	42,11 a (24,12)	31,00 a (10,94)
40	26,99 b (33,83)	17,97 b (16,96)
70	20,22 c (36,78)	15,02 c (15,32)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

Os valores de umidade geral foram diferentes entre si para todas as classes diamétricas, nas quais os moirões da classe de 13 cm apresentaram o dobro da umidade em relação aos moirões da classe de 7 cm. Já a umidade do alburno não apresentou diferença significativa entre as classes, ou seja, os valores foram iguais estatisticamente entre as peças com diferentes diâmetros, independentemente do tempo de secagem.

Ao se comparar a umidade geral com a umidade do alburno, pode-se notar que, para as peças das classes de 7 e 9 cm os valores são muito próximos ou iguais, devido ao elevado percentual de alburno das mesmas.

Comparando-se as umidades após cada tempo de secagem, todas diferiram estatisticamente entre si, com uma tendência natural de aproximação dos valores da umidade geral com a umidade do alburno, à medida que se aumentou o tempo de secagem.

Apesar de a média geral mostrar que, com 40 dias de secagem ao ar livre os moirões apresentavam umidade inferior a 30%, analisando-se os dados individualmente, somente após 70 dias de secagem os moirões da classe de

13 cm atingiram esse ponto, ou seja, de acordo com a literatura, estavam aptos para o tratamento preservativo em autoclave.

A variação de umidade encontrada está de acordo com o exposto por Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005) que, trabalhando com árvores recém-abatidas, afirmaram que a espécie *Eucalyptus urophylla* apresenta alta variabilidade quanto à distribuição radial da umidade. Os autores chegaram a uma queda do gradiente de umidade no sentido medula-casca, com uma diferença de 80% da região mais interna para a mais externa do tronco. O trabalho citado demonstra que a umidade do alburno de uma tora será menor que a do cerne e conseqüentemente menor que a umidade média geral da madeira. No presente trabalho essa situação se manteve, mesmo após 70 dias de secagem ao ar livre, o que demonstra que, com o passar do tempo, a madeira tende a entrar em equilíbrio com a umidade relativa e a temperatura ambiente, porém com a existência de um gradiente em seu interior.

4.5 Composição química do alburno

A quantidade de lignina presente no alburno não variou entre as quatro classes diamétricas avaliadas. Já a quantidade de extrativos variou ligeiramente, sem apresentar uma tendência definida entre as classes (Tabela 10).

Os teores de extrativos totais estão de acordo com os encontrados por Arantes et al. (2011) para as regiões mais distantes da medula. Comparando-se com outros trabalhos (LIMA et al., 2007; NEVES et al., 2011; COUTO, 2011) que utilizaram o cerne, os teores de extrativos totais foram menores nesse trabalho, o que era esperado, devido ao maior teor de extrativos normalmente encontrado no cerne.

Tabela 10 Comparações múltiplas das médias de teores de extrativos totais e lignina total, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Extrativos totais (%)	Lignina total (%)
7	2,64 a (12,88)	31,04 ns (2,79)
9	2,57 ab (11,74)	30,79 (2,19)
11	2,18 c (14,10)	30,74 (2,55)
13	2,20 bc (11,94)	31,21 (1,21)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

ns = não significativo, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

O valor médio encontrado para o teor de lignina foi de 30,94%. Apesar das amostras utilizadas serem constituídas apenas de alburno, os valores estão de acordo com os encontrados na literatura (BRITO; BARRICHELO, 1977; PEREIRA et al., 2000; ARANTES et al., 2011; COUTO, 2011; NEVES et al., 2011;) para médias totais de árvores da mesma espécie.

4.6 Percentual de alburno e volume tratável

Conhecer o percentual de alburno e conseqüente volume tratável da madeira a ser preservada é de extrema importância para a usina de preservação de madeiras que deseja fazer o controle da quantidade de produto a ser consumido por tora, no tratamento de uma batelada na autoclave. As comparações múltiplas dessas variáveis para as diferentes classes diamétricas encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 Comparações múltiplas das médias de percentual de alburno e volume tratável dos moirões, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Percentual de alburno (%)	Volume tratável (dm³)
7	100,00 a (0,00)	9,39 a (11,88)
9	95,28 a (6,25)	14,98 b (7,04)
11	81,84 b (6,46)	18,26 c (9,68)
13	68,70 c (3,90)	19,99 c (11,63)

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação, em %.

Os resultados de percentual de alburno foram semelhantes aos encontrados por Oliveira et al. (1999) para madeiras de *Eucalyptus urophylla*, oriundas das posições 75 e 100% da altura comercial, de árvores de 21 anos de idade. Segundo esses autores, os resultados para essa espécie correspondem a valores intermediários de espessura de alburno, entre sete espécies de *Eucalyptus* avaliadas.

Como era esperado, o percentual de alburno diminuiu com o aumento do diâmetro das peças. Dos moirões das classes de 7 e 9 cm, que foram iguais estatisticamente, para aqueles da classe de 13 cm houve uma redução média de 30% no percentual de alburno. No entanto, o volume tratável dos moirões da classe de 7 cm para aqueles das classes de 11 e 13 cm, que também foram iguais estatisticamente, apresentou um aumento de aproximadamente 100%.

Ao se considerar que todas as peças foram classificadas como moirões para o tratamento preservativo, deve-se enfatizar a importância de, em uma batelada, separar as toras por produto (moirão, poste, etc.) de acordo com a

retenção desejada, mas também fazer um controle da quantidade de peças de cada classe diamétrica presente por batelada, para que o cálculo do volume tratável total de madeira seja correto. Por exemplo, ao se colocar na autoclave 400 moirões da classe de 7 cm, o volume tratável total de madeira será em torno de 3,75 m³, no entanto, ao se colocar 200 moirões da classe de 7 cm e 100 moirões da classe de 13 cm, o volume tratável total de madeira será aproximadamente 3,88 m³, ou seja, apesar da diminuição de 400 para 300 moirões no interior da autoclave, o volume tratável de madeira aumentou.

Além disso, analisando-se as toras individualmente, um maior volume tratável corresponde a uma maior absorção de preservativo pela peça, o que deve ser levado em consideração na hora de se estabelecer o preço final do produto.

4.7 Penetração

Após a aplicação do Cromoazurol S foi possível fazer uma avaliação qualitativa da penetração do CCA-C nos moirões. Como já foi discutido, o alburno corresponde à parte permeável da madeira de *Eucalyptus*, fato que foi comprovado nesse trabalho, uma vez que o alburno foi completamente impregnado pela solução preservativa em todas as peças.

Assim, a penetração foi considerada “profunda e regular” para todos os moirões avaliados, independentemente da classe diamétrica e da umidade do moirão antes do tratamento (Figura 8). Porém, é importante destacar que penetração e retenção são propriedades distintas, de modo que uma penetração profunda e regular não implica em uma retenção adequada de preservativo.

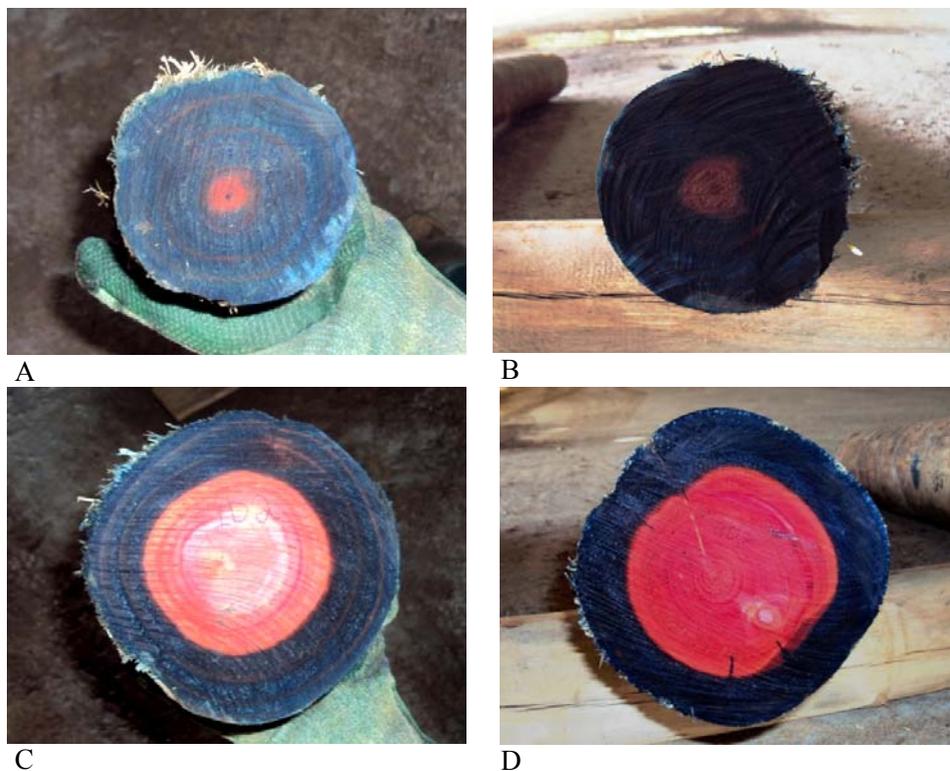


Figura 8 Penetração profunda e regular em moirões com diferentes diâmetros e umidades (ensaio com Cromoazurol S).

A-B: Moirões da classe de 9 cm, com 20 e 70 dias de secagem, respectivamente;
C-D: Moirões da classe de 13 cm, com 20 e 70 dias de secagem, respectivamente

Apesar do bom padrão geral apresentado, não foi detectada penetração nas regiões de nós da madeira e, em regiões provavelmente correspondentes ao lenho tardio, a mesma foi irregular (Figura 9-B e 9-D). Esse padrão de penetração está de acordo com o encontrado por Evangelista (2011), para diferentes espécies de *Eucalyptus*. Rudman (1965) também afirmou que a penetração nas fibras, algumas vezes, pode ser diferente entre o lenho inicial e o lenho tardio.

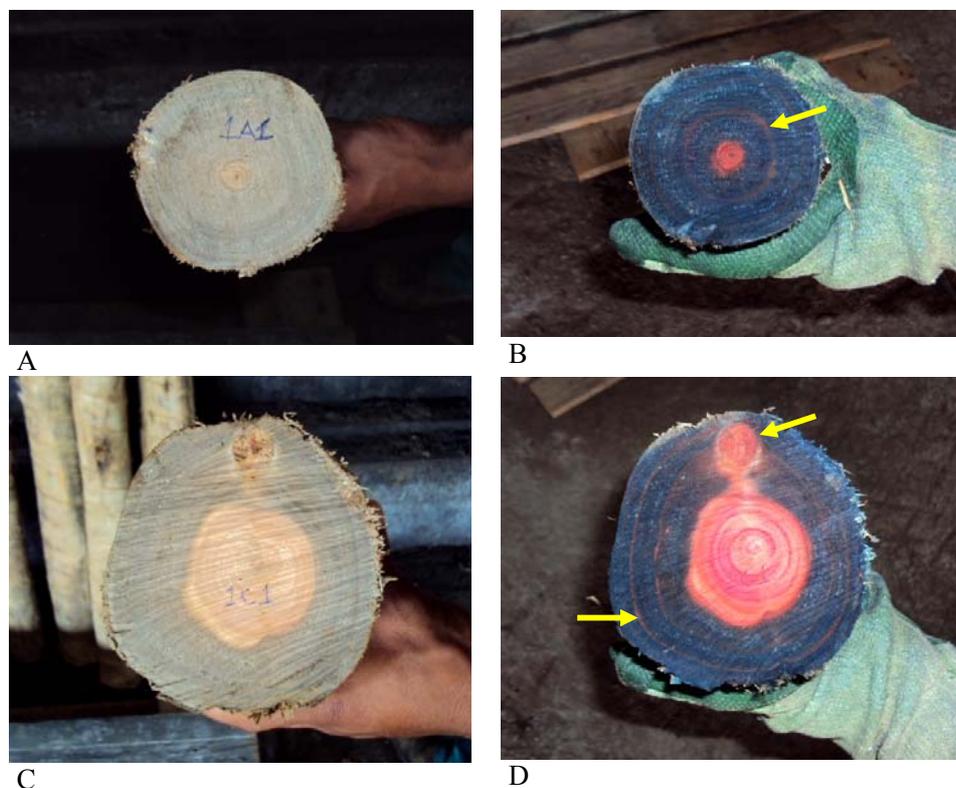


Figura 9 Seção transversal dos moirões tratados, antes e após o ensaio de penetração com Cromoazurol S.

A-B: Moirão da classe de 7 cm; C-D: Moirão da classe de 11 cm. Seta amarela: Destaque para regiões de nós e lenho tardio, sem reação com Cromoazurol S

A causa dessa deficiência na penetração provavelmente está relacionada a uma maior densidade e conseqüente menor permeabilidade dessas regiões da madeira. Burger e Richter (1991) e Marra (1992) afirmaram que, de modo geral, uma maior densidade implica em menor permeabilidade e maior dificuldade de secagem e impregnação com soluções preservativas, devido a um volume de espaços vazios mais reduzido.

Não foi detectada penetração do produto no cerne, o que está de acordo com o demonstrado por diversos autores, quando classificam o cerne da maioria

das folhosas como refratário quanto à preservação (HUNT; GARRATT, 1967; SIAU, 1984; SANTINI, 1988; SILVA et al., 2010).

Esse resultado de penetração total do alburno coloca o percentual de alburno da madeira de *Eucalyptus* como um importante fator a ser considerado na seleção da espécie ou clone a ser utilizado para o tratamento. Um maior percentual de alburno proporcionará maior penetração, o que será favorável para a proteção da madeira, mas por outro lado, o maior consumo de preservativo pode não ser viável economicamente, de modo que uma avaliação da melhor relação custo-benefício deve ser realizada.

4.8 Retenção

Conforme pode ser observado na Tabela 12, houve diferença significativa entre a retenção de CCA-C nos moirões de diferentes classes diamétricas, independentemente do tempo de secagem e entre os tempos de secagem a que foram submetidos os moirões, independentemente da classe diamétrica. A interação classe x tempo não foi significativa.

Tabela 12 Resumo da ANAVA para retenção de CCA-C em moirões de um clone de *Eucalyptus urophylla*

Fonte de variação	Retenção	
	GL	QM
Classe diamétrica	3	1,159*
Tempo de secagem	2	6,128*
Classe x Tempo	6	0,499
Resíduo	24	0,215
Total	35	

* = significativo a 5% de significância.

Comparando-se as retenções entre classes diamétricas, os valores foram iguais estatisticamente entre os moirões das classes de 9, 11 e 13 cm, que por sua vez foram diferentes daqueles pertencentes à classe de 7 cm (Figura 10). Essa relação foi mantida, apesar de haver aumento no valor das médias, quando se fez a comparação múltipla excluindo os valores referentes ao tratamento com secagem de 70 dias (Tabelas 1B e 2B, Apêndice B). Esse procedimento foi adotado, pois a concentração da solução de CCA-C sofreu alteração de 1,7 para 1,5% devido a fatores operacionais da empresa. É importante ressaltar que essa variação da concentração não se tratou de objetivo do trabalho e por isso não foi realizada a comparação das retenções com as concentrações da solução.

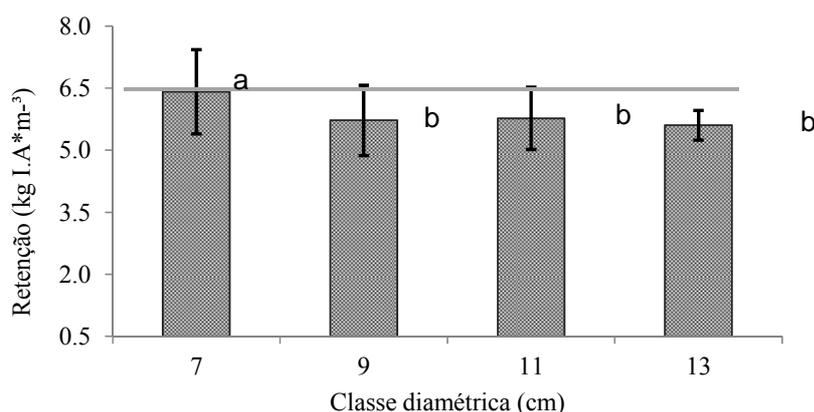


Figura 10 Retenção média de CCA-C por classe diamétrica, com os respectivos desvios padrão

Os moirões das classes de 9, 11 e 13 cm apresentaram uma retenção média de 5,70 kg I.A.*m⁻³, contra 6,41 kg I.A.*m⁻³ dos moirões da classe de 7 cm. Em termos médios os valores de retenção ficaram abaixo do mínimo estabelecido pela NBR 9480 (ABNT, 2009), que é de 6,5kg I.A.*m⁻³. Porém, seis

peças (17% do total), distribuídas entre as classes de 7, 9 e 11 cm, apresentaram retenções acima do estabelecido. No Apêndice C encontram-se todos os valores de retenção encontrados nesse trabalho. A distribuição da retenção média de CCA-C dos moirões, após os três tempos de secagem, encontra-se na Figura 11.

Houve diferença significativa entre as retenções de CCA-C em moirões com 20 e 40 dias de secagem. Os moirões com 70 dias de secagem não mantiveram essa tendência de aumento na retenção, apresentando valores estatisticamente iguais aos daqueles com 20 dias. Porém, conforme já mencionado e exposto na Figura 11, a diminuição da retenção foi influenciada pela diminuição na concentração da solução de tratamento. Não sendo possível determinar o efeito da secagem na retenção apresentada por essas peças. Evangelista (2011) demonstrou que alterações de 0,5% na concentração da solução de tratamento, para 60 minutos de pressão na autoclave, podem acarretar diferenças de até 29% na retenção do CCA-C.

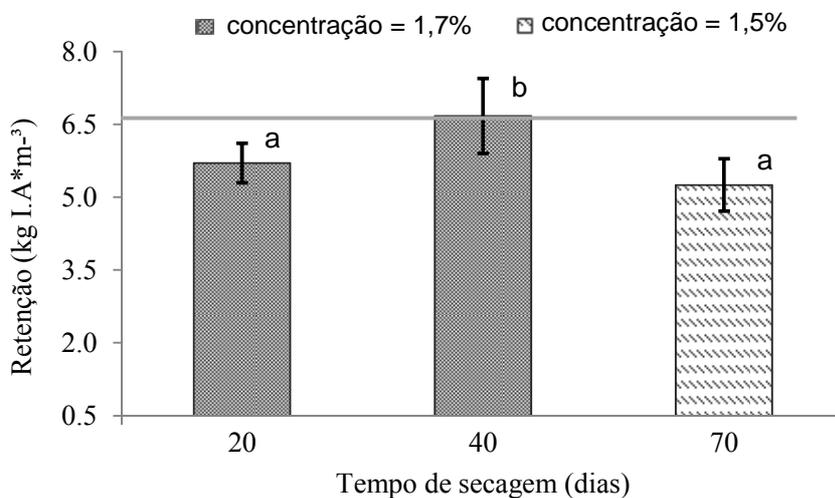


Figura 11 Retenção média de CCA-C por tempo de secagem, com os respectivos desvios padrão

As maiores retenções apresentadas pelas peças com 40 dias de secagem estão em conformidade com a umidade média das peças obtida após esse período, ou seja, menor que 30%. O que vem corroborar a informação da literatura em geral de que, para melhores resultados no tratamento em autoclave, a madeira deve apresentar umidade abaixo do PSF.

Com 20 dias de secagem, nenhum moirão atingiu o mínimo de retenção estabelecido pela NBR 9480 (ABNT, 2009). Já com 40 dias, embora na média geral os moirões tenham atingido a retenção mínima necessária, novamente seis moirões (17% do total) apresentaram valores inferiores, sendo que dentre eles estavam todos da classe de 13 cm.

A estatística descritiva e comparação múltipla de médias de retenção entre classes diamétricas e entre tempos de secagem encontram-se nas Tabelas 1A e 2A, Apêndice A.

4.9 Correlações entre retenção de CCA-C e características da madeira

Para o estudo das correlações, consideraram-se apenas os dados referentes aos moirões com tempos de secagem de 20 e 40 dias. Os valores referentes aos moirões com 70 dias de secagem não foram considerados devido à influência da diminuição da concentração da solução na retenção de CCA-C pela madeira, conforme já citado anteriormente.

A Tabela 13 apresenta os coeficientes de correlação obtidos entre a retenção de CCA-C e as características da madeira, quando o primeiro foi significativo. Entre 15 características da madeira analisadas, a retenção apresentou correlação significativa apenas para seis, sendo positiva para o percentual de alburno e o teor de lignina total e negativa para o diâmetro, umidade geral, umidade do alburno e volume tratável.

Tabela 13 Coeficientes de correlação entre a retenção de CCA-C e as características da madeira, de um clone de *Eucalyptus urophylla*

Retenção de CCA-C Versus	Coefficiente de correlação (r)
Diâmetro da tora	-0,52
Umidade geral	-0,86
Umidade do alburno	-0,70
Densidade básica do alburno	ns
Percentual de alburno	0,42
Volume tratável	-0,54
Teor de extrativos totais do alburno	ns
Teor de lignina total do alburno	0,42
Comprimento de fibras do alburno	ns
Largura de fibras do alburno	ns
Diâmetro do lume de fibras no alburno	ns
Espessura da parede de fibras do alburno	ns
Frequência de vasos do alburno	ns
Diâmetro do lume dos vasos no alburno	ns
Área ocupada por vasos no alburno	ns

ns = não significativo, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Percentual de alburno e volume tratável correspondem indiretamente à variação do diâmetro das peças e, conseqüentemente, à variação das classes diamétricas. De modo que essas características, assim como o diâmetro das peças, apresentaram correlações significativas com a retenção. Analisando-se o coeficiente de correlação (r) entre o diâmetro dos moirões e a retenção de CCA-C nos mesmos, trata-se de uma correlação moderada e, como pode ser observado na Figura 12, influenciada pela umidade dos moirões.

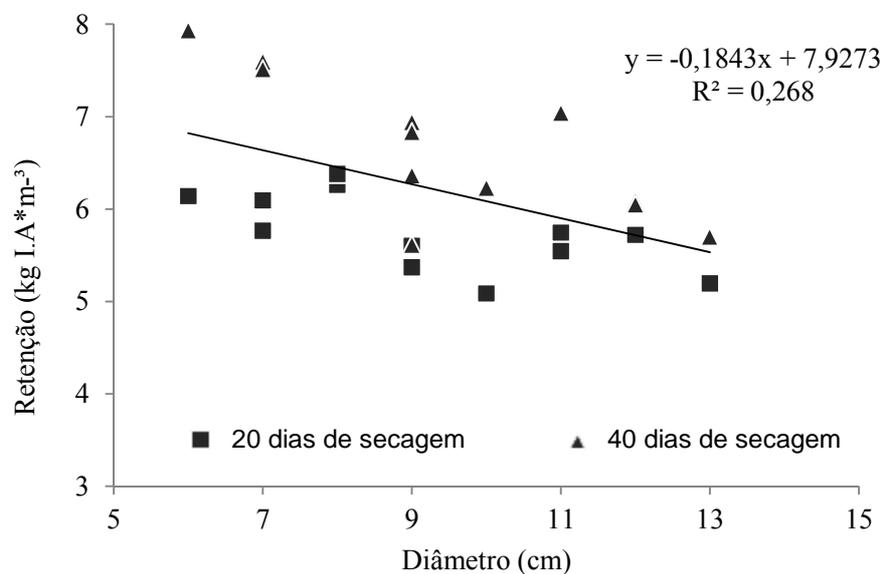


Figura 12 Diagrama de dispersão da variação da retenção em função da variação do diâmetro dos moirões

O teor de lignina total apresentou correlação significativa com a retenção, porém fraca do ponto de vista tecnológico. O que também era esperado, uma vez que essa propriedade não variou significativamente entre as classes de diâmetro, provavelmente devido ao fato de se tratar apenas de alburno, ser madeira de um mesmo clone e a pequena amplitude das classes diamétricas utilizadas.

Já as correlações entre a retenção e a umidade da madeira foram fortes. Analisando-se o coeficiente de determinação (r^2) pode-se afirmar que 74% da variação total da retenção de CCA-C pode ser explicada pela variação da umidade média geral da madeira (Figura13).

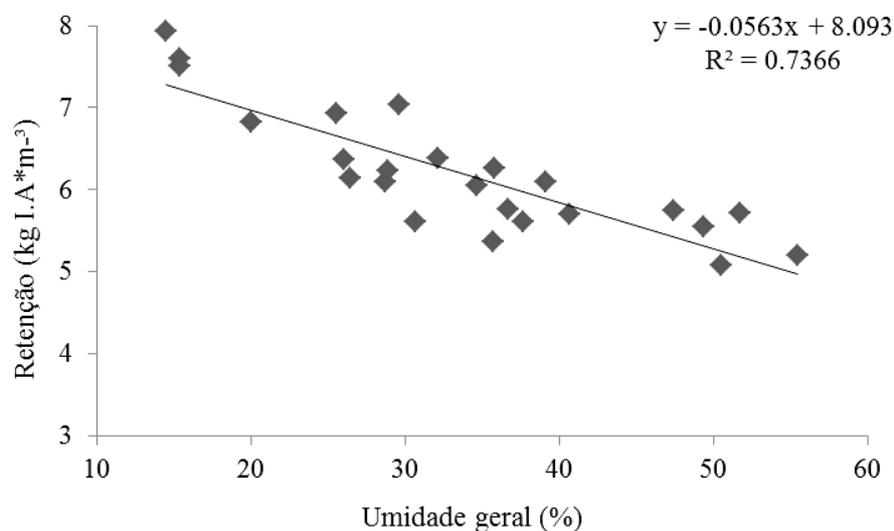


Figura 13 Diagrama de dispersão da variação da retenção em função da variação da umidade geral dos moirões

Considerando-se apenas a umidade do alburno, o coeficiente de determinação demonstra que 49% da variação da retenção de CCA-C pode ser explicada pela variação da umidade do alburno (Figura 14).

Esses resultados mostram que a existência de elevado gradiente de umidade no interior das peças parece influenciar a retenção de CCA-C, de modo que, para um melhor controle do tratamento preservativo, é importante levar em consideração não somente a umidade do alburno, mas a umidade geral das peças.

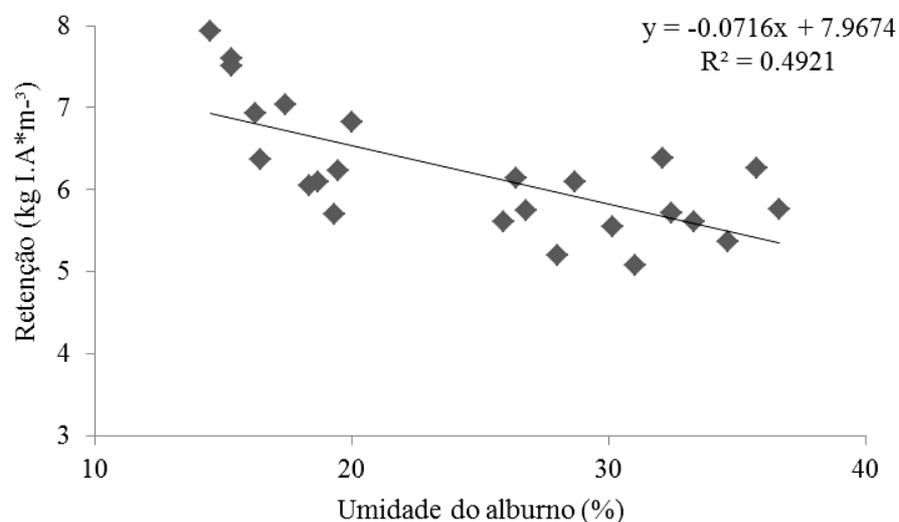


Figura 14 Diagrama de dispersão da variação da retenção em função da variação da umidade do alburno dos moirões

As indústrias de preservação têm utilizado medidores elétricos de resistência para determinação da umidade e normalmente esses medidores atingem apenas o alburno das toras. Assim, medidas para se levar em consideração a umidade geral das peças devem ser estudadas, para que não seja determinada a umidade apenas da região superficial da madeira, que rapidamente entra em equilíbrio com o ambiente e que não representa a umidade real da tora. Além disso, períodos mínimos de secagem devem ser respeitados, mesmo que a leitura do medidor elétrico indique uma umidade satisfatória, principalmente para peças de maiores diâmetros.

A umidade foi a única propriedade da madeira que mostrou boa correlação com a retenção de CCA-C. Valle (2009) e Evangelista (2011) também avaliaram correlações de retenção de CCA com propriedades da madeira de *Eucalyptus* e concluíram que as propriedades da madeira não contribuíram para explicar os resultados de retenção. Porém, nesses trabalhos a

umidade foi considerada apenas como abaixo do PSF, não sendo determinada e analisada a umidade da madeira pré-tratamento.

O efeito da umidade na retenção de CCA foi mais estudado para madeiras de coníferas. Kumar e Morrell (1989) concluíram que o tratamento de peças com 18% de umidade apresentaram melhores resultados do que aquelas com 28%, resultado semelhante ao encontrado nesse trabalho considerando-se a umidade do alburno. Os autores afirmaram ainda que não foi considerada vantajosa a secagem até 9% de umidade. Esses resultados também estão de acordo com os encontrados por Usta (2004), quando verificou que valores abaixo do PSF proporcionaram maior absorção do produto, sendo a maior absorção obtida no teor de umidade de 22%. Ainda segundo o autor, a secagem além desse ponto não representa uma melhora na qualidade do tratamento e parece ser inviável economicamente.

Embora a densidade seja um parâmetro utilizado no cálculo da retenção de CCA, a mesma não variou estatisticamente entre classes diamétricas e não apresentou correlação com a retenção. Sobre isso, Hunt e Garratt (1967) afirmaram que não existe relação nítida entre a densidade e a retenção de produtos na madeira de angiospermas.

5 CONCLUSÕES

1) Em geral, a penetração da solução preservante foi considerada profunda e regular no alburno, independente da classe diamétrica e do tempo de secagem a que a madeira foi submetida;

2) A retenção nos moirões da classe de 7 cm foi superior ao das classes de 9 cm, 11 cm e 13 cm, que não variaram entre si;

3) O aumento do tempo de secagem de 20 para 40 dias proporcionou aumento significativo na retenção média de CCA-C pelos moirões, de 5,70 para 6,67 kg I.A. *m⁻³;

4) A variação das características anatômicas e químicas, além da densidade, percentual de alburno e volume tratável entre classes diamétricas não contribuíram para explicar os valores de retenção de CCA-C nos moirões;

5) A variação do diâmetro dos moirões se mostrou significativo com a variação da retenção, com correlação moderada ($r = -0,52$);

6) As variações das umidades geral e do alburno se mostraram significativas com a variação da retenção, com boa correlação entre os fatores.

7) A correlação entre a umidade geral dos moirões e a retenção de CCA-C ($r = -0,86$) foi mais forte que a correlação entre a umidade do alburno e a retenção ($r = -0,70$).

6 RECOMENDAÇÕES

- Comparar as retenções de CCA-C entre madeiras de diferentes classes diamétricas na unidade de equilíbrio;

- Comparar as retenções de preservativos entre madeiras de coníferas e folhosas, objetivando-se adequar as características do processo à madeira que se estiver utilizando;

- Avaliar a possibilidade de se desenvolver equações de ajuste da leitura do medidor elétrico de resistência, objetivando-se um valor mais próximo à umidade geral da tora;

- Avaliar a diferença de penetração e retenção de CCA nos lenhos inicial e tardio da madeira de *Eucalyptus*, assim como seu impacto na eficiência da proteção;

- Realizar um trabalho ilustrando os diferentes graus de penetração existentes, para servir de referência a futuras análises de penetração;

- Realizar pesquisas que envolvam a nova geração de preservativos utilizados no mundo, assim como o desenvolvimento de novos produtos ao mesmo tempo eficientes e ambientalmente seguros;

- Realizar cada vez mais pesquisas que tragam resultados práticos e impulsionem o desenvolvimento da preservação de madeiras no Brasil, pois trata-se de um mercado com grande potencial de crescimento, principalmente no que diz respeito à utilização da madeira tratada na construção civil.

REFERÊNCIAS

ALFONSO, V. A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit, cultivadas no Brasil**. 1987. 189 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

APPEL, J. S. L. et al. Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. **Revista Brasileira de Toxicologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 33-47, 2006.

ARANTES, M. D. C. et al. Longitudinal and radial variation of extractives and total lignin contents in a clone of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 283-291, jul./set. 2011.

NBR 6232: penetração e retenção de preservativo em postes de madeira. Rio de Janeiro, 1973. 12 p.

_____. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

_____. **NBR 9480**: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.

_____. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Brasília, 2012. 150 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Métodos de ensaio**. São Paulo, 1974. 8 p.

BEHR, E. A. et al. Microscopic examination of pressure-treated wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 19, n. 8, p. 31-41, 1969.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fiber Science**, Kansas, v. 22, n. 1, p. 54-61, 1990.

BRASIL. Lei n. 4.797, 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] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 22 out. 1965. 2 p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963.

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

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 1980. 206 p. Tese (Doutorado) – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1980.

COOPER, P. A. et al. The potential for reuse of preservative-treated utility poles removed from service. **Waste Management & Research**, London, v. 14, n. 3, p. 263-279, 1996.

COUTO, A. M. **Modelagem da densidade básica e caracterização química em clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 2011. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DANIEL, G.; NILSSON, T. **Comparative studies on the distribution of lignin and CCA elements in birch using electron microscopic X-ray microanalysis**. Stockholm: International Research Group on Wood Protection, 1987. 19 p. (Document IRG/WP/1328).

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto**. 2011. 105 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010a.

_____. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 1-19, nov. 2010b.

FLORSHEIM, S. M. B. et al. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, jun. 2009.

FOELKEL, C. Elementos de vaso e celulosas de eucalipto. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, abr. 2007. 56 p. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf>. Acesso em: 23 maio 2012.

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.

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

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.

GÉRARD, J. et al. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation – Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, n. 245, p. 101-111, 1995.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed.). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** New York: J. Wiley Interscience, 1971. p. 241-298.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação.** Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 248 p.

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

HICKIN, N. E. **The dry rot problem.** 2. ed. London: The Rentokil Library, 1972. 115 p.

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.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3th ed. New York: McGraw Hill, 1967. 433p.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 2012. **Banco de dados produtos preservativos de madeiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/produtos-preservativos-de-madeiras>>. Acesso em: 02 jul. 2012.

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

KARTAL, S. N.; LEBOW, S. **Effect of Compression Wood on Leaching of Chromium, Copper, and Arsenic From CCA-C Treated Red Pine (*Pinus resinosa* Ait.)**. Stockholm: International Research Group on Wood Protection, 2000. 10 p. (Document IRG/WP 00-30232).

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

KUMAR, S.; MORRELL, J. J. Moisture content of western hemlock: influence on treatability with chromated copper arsenate Type C. **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 4, p. 279-280, 1989.

LEBOW, S. **Leaching of wood preservative components and their mobility in the environment**: summary of pertinent literature. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996. 36 p.

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

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, abr./jun. 2007.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília, IBDF/DPq-LPF, 1988.

MONTANA QUÍMICA S. A. **Determinação da penetração de preservativos a base de cobre em madeira tratada**. ME – 033/05. [S.l: s.n, 2005?].

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

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out./dez. 2011.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, A. M. F.; LEPAGE, E. S. Controle de qualidade. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT; SICCT, 1986. v. 1, cap. 5, p. 99-278.

ORBE VELALCAZAR, J. **Preservación de la madera**. Conocoto, Ministerio de Agricultura y Ganaderia, 1984. 41 p. (IF, 34).

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

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

RADIOJEVIC, S.; COOPER, P. A. Effects of CCA-C Preservative Retention and Wood Species on Fixation and Leaching of Cr, Cu, and As. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 39, n. 4, p. 591-602, Oct. 2007.

READ, D. **Report on Copper, Chromium and Arsenic (CCA) Treated Timber**. New Zealand: Environmental Risk Management Authority, 2003. 68 p. Disponível em: < <http://www.epa.govt.nz/Publications/cca-report.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2012.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. London: The Construction, 1978.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.

RODRIGUEZ HERRERA, J.A. Preservación de maderas por métodos sencillos y de bajo costo. **Ciencia Forestal**, Mexico, v. 2, n. 8, p. 25-49, 1977.

RUDMAN, P. Studies in Wood Preservation, part I: The Penetration of Liquids into Eucalypt Sapwoods. **Holzforschung**, Berlin, v. 19, n. 1, p. 5-13, 1965.

SALES-CAMPOS, C.; VIANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. S. Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae - (pau-rainha) uma espécie madeireira da região Amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 845-853, dez. 2003.

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

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, jun. 2004.

SHUPE, T. F. et al. Difference in moisture content and shrinkage between outer wood, middle-wood, and core wood of two yellow-poplar trees. **Forest Products Journal**, Madison, v.45, n.9, p. 85-90, 1995.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 131 p.

_____. **Transport processes in wood**. New York: Springer Wood Science, 1984. 245 p.

SILVA, M. R. et al. Permeability Measurements of Brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Carlos, v.13, n. 3, p. 281-286, Sept. 2010.

TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalyptus for wood production**. Austrália: CSIRO, 1978. p. 333-352.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 55-62, mar. 2007.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of Wood**: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold, 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.

VALLE, M. L. A. **Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada**. 2009. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

WONG, A. H. H.; LAI, H. C.; LIM, N. P. T. **Laboratory leaching tests to study the effects of post-treatment storage periods on CCA leachability and fixation in treated permeable and refractory Malaysian hardwoods**. Stockholm: International Research Group on Wood Protection, 2010. 10 p. (Document IRG/WP/06-50240).

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA E COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS PARA MOIRÕES COM 20, 40 E 70 DIAS DE SECAGEM

Tabela 1A Estatística descritiva e comparações múltiplas das médias de retenção de CCA-C, por classe diamétrica

Classe diamétrica (cm)	Retenção (kg I.A*m ⁻³)				Número de observações
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	
7	6,41 a	5,20	7,93	15,88	9
9	5,72 b	4,17	6,94	14,69	11
11	5,77 b	4,50	7,04	13,22	8
13	5,60 b	5,13	6,09	6,42	8

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Tabela 2A Estatística descritiva e comparações múltiplas das médias de retenção de CCA-C, por tempo de secagem

Tempo de secagem (dias)	Retenção (kg I.A*m ⁻³)				Número de observações
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	
20	5,70 a	5,09	6,38	7,21	12
40	6,67 b	5,61	7,93	11,52	12
70	5,25 a	4,17	6,13	10,35	12

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

**APÊNDICE B – ANÁLISES DOS RESULTADOS DE RETENÇÃO
EXCLUINDO-SE OS MOIRÕES COM 70 DIAS DE SECAGEM**

Tabela 1B Resumo da ANOVA para retenção de CCA-C em moirões com 20 e 40 dias de secagem

Fonte de variação	Retenção	
	GL	QM
Classe diamétrica	3	1,25*
Tempo de secagem	1	5,31*
Classe x Tempo	3	0,49
Resíduo	16	0,17
Total	23	

* = significativo a 5% de significância.

Tabela 2B Comparações múltiplas entre médias para retenção de CCA-C, por classe diamétrica, para moirões com 20 e 40 dias de secagem

Classe diamétrica (cm)	Retenção (kg I.A*m ⁻³)				Número de observações
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	
7	6,84 a	5,77	7,93	13,75	6
9	6,17 b	5,37	6,94	9,47	8
11	6,05 b	5,09	7,04	12,57	5
13	5,70 b	5,19	6,09	6,24	5

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

APÊNDICE C - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RETENÇÃO

Tabela 1C Resultados das análises de retenção

Amostra	LeituraRaio-X			Retenção (kg I.A.*m ⁻³)				Balanço (especificação)			Total
	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	IA	41,8 a 53,2	15,2 a 22,8	27,3 a 40,7	
								CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	
1A1	0,516	0,253	0,352	2,65	1,30	1,81	5,77	46,03	22,57	31,40	100
1A2	0,589	0,307	0,401	2,79	1,45	1,90	6,14	45,41	23,67	30,92	100
1A3	0,502	0,253	0,347	2,78	1,40	1,92	6,09	45,55	22,96	31,49	100
1B1	0,459	0,214	0,278	2,59	1,21	1,57	5,37	48,26	22,50	29,23	100
1B2	0,518	0,267	0,364	2,82	1,45	1,98	6,26	45,08	23,24	31,68	100
1B3	0,520	0,259	0,347	2,95	1,47	1,97	6,38	46,18	23,00	30,82	100
1B4	0,461	0,222	0,310	2,60	1,25	1,75	5,60	46,42	22,36	31,22	100
1C1	0,493	0,242	0,302	2,73	1,34	1,67	5,74	47,54	23,34	29,12	100
1C2	0,456	0,231	0,276	2,41	1,22	1,46	5,09	47,35	23,99	28,66	100
1C3	0,470	0,227	0,288	2,65	1,28	1,62	5,54	47,72	23,05	29,24	100
1D1	0,428	0,209	0,258	2,48	1,21	1,50	5,19	47,82	23,35	28,83	100
1D2	0,532	0,219	0,302	2,89	1,19	1,64	5,72	50,52	20,80	28,68	100

Tabela 1C, continuação

Amostra	Leitura Raio-X			Retenção (kg I.A *m ⁻³)				Balanço (especificação)			Total
	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	IA	41,8 a 53,2	15,2 a 22,8	27,3 a 40,7	
								CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	
2A1	0,642	0,308	0,459	3,46	1,66	2,47	7,60	45,56	21,86	32,58	100
2A2	0,613	0,319	0,462	3,30	1,72	2,49	7,51	43,97	22,88	33,14	100
2A3	0,654	0,320	0,498	3,52	1,72	2,68	7,93	44,43	21,74	33,83	100
2B1	0,602	0,294	0,397	3,23	1,58	2,13	6,94	46,56	22,74	30,70	100
2B2	0,438	0,216	0,294	2,59	1,28	1,74	5,61	46,20	22,78	31,01	100
2B3	0,592	0,289	0,433	3,08	1,50	2,25	6,83	45,05	21,99	32,95	100
2B4	0,493	0,236	0,337	2,94	1,41	2,01	6,36	46,25	22,14	31,61	100
2C1	0,588	0,276	0,395	3,29	1,54	2,21	7,04	46,70	21,92	31,37	100
2C2	0,493	0,245	0,352	2,82	1,40	2,01	6,23	45,23	22,48	32,29	100
2D1	0,549	0,247	0,327	2,79	1,25	1,66	5,70	48,89	21,99	29,12	100
2D2	0,551	0,282	0,389	2,75	1,40	1,94	6,09	45,09	23,08	31,83	100
2D3	0,501	0,229	0,350	2,81	1,28	1,96	6,05	46,39	21,20	32,41	100
3A1	0,450	0,215	0,277	2,53	1,21	1,56	5,30	47,77	22,82	29,41	100
3A2	0,518	0,250	0,340	2,86	1,38	1,88	6,13	46,75	22,56	30,69	100

Tabela 1C, continuação

Amostra	Leitura Raio-X			Retenção (kg I.A.*m ⁻³)				Balança (especificação)			Total
								41,8 a 53,2	15,2 a 22,8	27,3 a 40,7	
	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	IA	CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	
3A3	0,445	0,209	0,266	2,52	1,18	1,50	5,20	48,37	22,72	28,91	100
3B1	0,449	0,216	0,274	2,63	1,26	1,60	5,50	47,82	23,00	29,18	100
3B2	0,363	0,177	0,206	2,03	0,99	1,15	4,17	48,66	23,73	27,61	100
3B3	0,398	0,195	0,239	2,29	1,12	1,38	4,79	47,84	23,44	28,73	100
3C1	0,372	0,171	0,198	2,26	1,04	1,20	4,50	50,20	23,08	26,72	100
3C2	0,542	0,249	0,299	2,79	1,28	1,54	5,60	49,72	22,84	27,43	100
3C3	0,453	0,225	0,255	2,71	1,35	1,53	5,59	48,55	24,12	27,33	100
3D1	0,440	0,207	0,242	2,54	1,20	1,40	5,13	49,49	23,28	27,22	100
3D2	0,503	0,230	0,296	2,62	1,20	1,54	5,36	48,88	22,35	28,77	100
3D3	0,487	0,225	0,292	2,76	1,28	1,66	5,69	48,51	22,41	29,08	100

1A1: Amostra com 20 dias de secagem, da classe de 7 cm, repetição 1; 1A2: 20 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 2; 1A3: 20 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 3; 1B1: 20 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 1; 1B2: 20 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 2; 1B3: 20 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 3; 1B4: 20 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 4; 1C1: 20 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 1; 1C2: 20 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 2; 1C3: 20 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 3; 1D1: 20 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 1; 1D2: 20 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 2; 2A1: 40 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 1; 2A2: 40 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 2; 2A3: 40 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 3; 2B1: 40 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 1; 2B2: 40 dias de secagem, classe

de 9 cm, repetição 2; 2B3: 40 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 3; 2B4: 40 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 4; 2C1: 40 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 1; 2C2: 40 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 2; 2D1: 40 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 1; 2D2: 40 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 2; 2D3: 40 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 3; 3A1: 70 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 1; 3A2: 70 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 2; 3A3: 70 dias de secagem, classe de 7 cm, repetição 3; 3B1: 70 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 1; 3B2: 70 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 2; 3B3: 70 dias de secagem, classe de 9 cm, repetição 3; 3C1: 70 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 1; 3C2: 70 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 2; 3C3: 70 dias de secagem, classe de 11 cm, repetição 3; 3D1: 70 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 1; 3D2: 70 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 2; 3D3: 70 dias de secagem, classe de 13 cm, repetição 3.