

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE NOVE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* spp. EM
TRATAMENTO PRESERVATIVO INDUSTRIAL**

FELIPE CAMARGO DE CAMPOS LIMA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal

BOTUCATU – SP
Setembro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE NOVE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* spp. EM
TRATAMENTO PRESERVATIVO INDUSTRIAL**

FELIPE CAMARGO DE CAMPOS LIMA

Orientador: Prof. Dr. Elias Taylor Durgante Severo

Co-orientador: Dr. Fred Willians Calonego

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal

BOTUCATU – SP

Setembro – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

L732a Lima, Felipe Camargo de Campos, 1986-
Avaliação de nove espécies de *Eucalyptus* spp. em tratamento preservativo industrial / Felipe Camargo de Campos
Lima.- Botucatu :[s.n.], 2012
x, 82 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Elias Taylor Durgante Severo
Co-orientador: Fred Willians Calonego
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Madeira - Preservação. 3. Autoclaves.
I. Severo, Elias Taylor Durgante. II. Calonego, Fred Willians. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

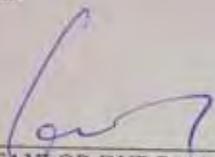
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE NOVE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* spp. EM
TRATAMENTO PRESERVATIVO INDUSTRIAL"

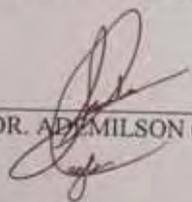
ALUNO: FELIPE CAMARGO DE CAMPOS LIMA

ORIENTADOR: PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO
COORIENTADOR: DR. FRED WILLIANS CALONEGO

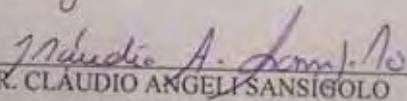
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. ADEMILSON CONEGLIAN



PROF. DR. CLÁUDIO ANGEL SANSÍGOLO

Data da Realização: 28 de setembro de 2012.

Uma vitória que é ganha após uma luta feroz, e é louvada universalmente, não é o apogeu da excelência. Assim como o levantar de um fio de cabelo não é sinal de força, como ver o sol e a lua não é sinal de visão aguçada, tão pouco escutar um trovão não é dom de audição.

SUN TZU

Agradeço:

À minha família, que sempre apoiou minhas decisões, sendo presentes e atuantes na minha formação pessoal e profissional. Meus pais Arnaldo de Campos Lima Junior e Maria Silvia de Camargo Campos Lima, pela dedicação e carinho que tiveram por mim, sendo responsáveis por uma educação sólida que permitiu que sonhasse e buscasse desses sonhos. Aos meus irmãos Andreia Camargo de Campos Lima e Marcelo Camargo de Campos Lima pelo companheirismo que os tornam tão queridos a mim. Aos tios, primos e avós que conviveram comigo em todos esses anos.

À Luana Bermejo, companheira a quem tenho um carinho e amor todo especial, agradeço principalmente as orações e intenções que guiaram meu caminho nos momentos difíceis, dando lucidez para que prosseguisse minha caminhada.

Aos meus orientadores Dr. Elias Taylor Durgante Severo e Dr. Fred Calonego pela orientação, conselhos e ensinamentos.

Os amigos de república Mario Sérgio, Javier, Guilherme, Fábio, Carlos, Felipe, Ronaldo e aos amigos que conviveram na república, Luiz Gustavo, Rodolfo, Miguel.

Aos colegas do laboratório, Ademilson, Cinthian, Paula, Melani, Aline, Edson, Dicão.

À empresa Grupo Mutum, em especial Moacir Reis e Matheus Campos Reis pela doação do material utilizado nas pesquisas, com todo apoio logístico para as coletas.

À empresa Montana Quimica S/A, pelo empréstimo do laboratório e auxílio para realização das análises químicas nas madeiras. E aos colegas daquele laboratório pelos ensinamentos.

À todos aqueles que de alguma forma participaram e auxiliaram no processo de realização dessa pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	1
SUMMARY	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1. Durabilidade natural da madeira.....	6
3.2 Preservação da madeira.....	9
3.2.1 Processo sem uso de pressão.....	11
3.2.2 Processo de preservação industrial.....	13
3.2.3 Produtos preservativos de madeira.....	17
3.3. Controle de qualidade da madeira preservada quimicamente.....	21
3.3.1. Forma e características físicas e mecânicas dos mourões tratados..	21
3.3.2. Penetração de produto químico.....	26
3.3.3. Retenção de produto químico.....	28
3.4. Espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. indicadas para preservação química.....	30
3.4.1. Plantio de <i>Eucalyptus</i> spp. no Brasil.....	30
3.4.2. Utilização do gênero <i>Eucalyptus</i> spp. na preservação química.....	32
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1. Área de plantio	36
4.2. Espécies utilizadas.....	36
4.3. Coleta e preparo do material.....	37
4.4. Avaliação da massa específica básica, da porcentagem de alburno e das rachaduras nos mourões de <i>Eucalyptus</i> spp.	39
4.5. Método de preservação industrial dos mourões de <i>Eucalyptus</i> spp.	41

4.6. Avaliação da penetração do produto preservativo nos mourões de <i>Eucalyptus</i> spp.....	43
4.7. Avaliação da retenção de produto preservativo nos mourões de <i>Eucalyptus</i> spp.....	44
4.8. Análise estatística.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Caracterização física dos mourões de diversas espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.	49
5.2. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento industrial de diversas espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. sobre a penetração do produto preservativo na madeira.....	57
5.3. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento industrial de mourões de diversas espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. sobre a retenção do produto preservativo na madeira.....	62
6. CONCLUSÃO.....	69
7. REFERÊNCIAS	71
Apêndice 1. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA VARIÁVEIS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, RETENÇÃO DE INGREDIENTE ATIVO, RETENÇÃO DE CrO ₃ , CuO e As ₂ O ₅ DE MOURÕES DE 9 ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> spp. PRESERVADA QUIMICAMENTE POR PROCESSO INDUSTRIAL.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pagina
1	Limite máximo de curvatura em um plano e em uma direção estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009).....	22
2	Limite máximo de curvatura em dois planos e em duas direções estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009).....	22
3	Sinuosidades máximas de mourões preservados estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009). A – sinuosidade com eixos de referência aproximadamente paralelos; B – sinuosidade com eixos de referência praticamente coincidentes; C – Sinuosidade com eixos de referência não paralelos.....	23
4	Coleta e traçamento dos mourões de eucaliptos usados no estudo: A – Derrubada e traçadas das árvores e corte das peças e discos; B – Discos de 9 espécies utilizadas para avaliação da massa específica básica; C – Empilhamento dos mourões durante a secagem ao ar livre; D – Plaqueta de identificação das peças.....	38
5	Rachadura de topo e base, fenda de topo e base e fenda de corpo segundo norma ABNT – NBR 9480 (2009).....	40
6	Abastecimento da autoclave para realização do processo de preservação: A – Medição da umidade da madeira antes da entrada na autoclave; B – Mourões dispostos dentro da autoclave, prontos para início do ciclo de preservação.....	42
7	Classificação dos níveis de penetração do produto preservativo nas peças de madeira tratadas por intermédio de um produto químico revelador, segundo CAMPOS et al. (2003).....	43
8	Retirada das baguetas amostrais para análise de retenção dos mourões: A – indica a perfuração da broca; B – indica as peças já perfuradas na porção central dos mourões.....	45

- 9 Preparo das baguetas para secagem e posteriormente para cálculo da massa específica seca do alburno de cada mourão: A – Material utilizado para ajuste; B – Ajuste das arestas sendo realizado com auxílio de formão; C e D – Amostras prontas para a secagem em estufa..... 46
- 10 Processo de moagem do material para análise química: A – moinho de moagem; B – Amostras moídas a fração 30 mesh (esquerda) e amostras antes de serem moídas (direita)..... 47
- 11 Classificação da penetração em mourões de *Eucalyptus* spp. preservados industrialmente com CCA-C: A – demonstra a penetração total do alburno; B – demonstram manchas sem preservação ocorridas ao longo do alburno; C – demonstra no detalhe um defeito causado por gomose; D – apresenta na indicação das setas anéis sem preservação ao longo da peça, característica considerada penetração parcial periférica..... 58

LISTA DE TABELAS

Tabela		Pagina
1	Concentrações de Ingrediente Ativo (I. A.) preservativo hidrossolúvel do Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), conforme especificação da norma americana Standard P5-06 da AWPA (2006).....	20
2	Resistência a flexão mínima requerida para mourões tratados em função do teor de umidade conforme preconiza a norma ANBT – NBR 9480 (2009).....	24
3	Espécies e/ou híbridos de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionados para o estudo...	37
4	Classificação dos mourões de várias espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. em função do comprimento e abertura das rachaduras e fendas, segundo norma técnica da ABNT-NBR 9480 (2009).....	50
5	Rachaduras e fendas no topo de mourões das 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	51
6	Rachaduras e fendas na base de mourões das 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	52
7	Fendas no corpo de mourões das 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	53
8	Massa específica da madeira das 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	54
9	Porcentagem média de área de alburno em 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. preservada industrialmente com preservativo químico CCA-C.....	56
10	Descrição qualitativa de penetração e da absorção média de solução preservativa presentes em 9 espécies de <i>Eucalyptus</i> spp. preservadas com CCA-C em processo industrial com autoclave.....	59
11	Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente Ativo (I.A.) do CCA-C nos mourões de várias espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	62
12	Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente CrO ₃ do CCA-C nos mourões de várias espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	64

13	Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente CuO do CCA-C nos mourões de várias espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	65
14	Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente As ₂ O ₅ do CCA-C nos mourões de várias espécies de <i>Eucalyptus</i> spp.....	66

RESUMO

A preservação química de madeira para uso rural é feita, na grande maioria dos casos, utilizando-se a espécie *Corymbia citriodora*. Essa espécie tem sido a mais aceita no mercado embora sua tecnologia silvicultural e melhoramento genético tenha ficado aquém de outras espécies de *Eucalyptus* spp. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de várias espécies de *Eucalyptus* spp. para substituir o *Corymbia citriodora* no tratamento preservativo industrial. Para isso foram empregados 3 tratamentos que variavam o tempo de pressão em autoclave, contendo cada um deles 9 espécies comerciais de *Eucalyptus* spp., com 5 repetições cada. As espécies selecionadas foram extraídas de um mesmo povoamento com 4 anos de idade, e mourões com classe de diâmetro de 10 a 16 cm. Foram utilizados os tratamentos embasaram-se no processo industrial de preservação com variação do tempo de pressão entre 30 minutos, 1 hora e 2 horas. Foram avaliados a massa específica a 0% de umidade, rachaduras e fendas das peças de madeiras e a penetração e a retenção do produto químico CCA-C nos mourões das diferentes espécies. O maior índice de rachaduras de topo do mourão foi observado na espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 5,9 mm e o menor índice de rachadura de topo foi da espécie *E. camaldulensis* VM-58 1,2 mm, e o maior índice de abertura de fenda de topo de mourão observada foi para a espécie *E. urophylla* I-220 com 25,9 mm e o menor índice de abertura de fenda de topo foi da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM19 com 9,3 mm. Conclui-se que é possível a substituição do *C. citriodora* por novas espécies para uso como mourão preservado quimicamente. Os resultados demonstraram a eficiência do tratamento preservativo nas diferentes espécies com valores de retenção que variaram entre 5,2 e 11,7 kg/m³, respectivamente para as espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* GG100 com meia hora de pressão e *E. urophylla* x *E. grandis* VM19 com 2 horas de pressão, uma grande variação que permitiu diferenciar e caracterizar as espécies estudadas.

Palavras-chave: Espécies para preservação química, tratamento químico de madeira, CCA-C, célula cheia e autoclave.

SELECTION TO NEW SPECIES TO SUBSTITUTE THE *Corymbia citriodora* IN INDUSTRIAL WOOD TREATMENT. Botucatu, 2012. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FELIPE CAMARGO DE CAMPOS LIMA

Adviser: ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Co-adviser: FRED WILLIANS CALONEGO

SUMMARY

The preservation of wood chemistry for rural use is made, in most cases, utilizing the type *Corymbia citriodora*. This species has been widely accepted in the market though its silviculture and genetic improvement technology has lagged behind other species of *Eucalyptus* spp. The objective of this study is to evaluate the potential of *Eucalyptus* spp. to replace the *Corymbia citriodora* in industrial preservative treatment. For that three treatments were applied time varying pressure in an autoclave, each containing nine commercial species of *Eucalyptus* sp., with 5 replications. The species used were extracted from the same stand 4 years of age and class diameter of 10 to 16 cm. The treatments used in the industrial process of conservation with time-varyng pressure from 30 minutes, 1 hour and 2 hours. We evaluated the density at 0% moisture, cracks and crevices of wood and the penetration and retention of the chemical CCA-C stakes in the different species. The highest top the gatepost end checks were observed in the species *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 5,9 mm and the lowest was end checks top the species *E. camaldulensis* VM-58 1,2 mm, and the highest rate of crack opening top of gatepost was observed for the species *E. urophylla* x *E. grandis* I-220 with 25,9 mm and the lowest opening slot top was kind of *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 with 9,3 mm. It is concluded that it is possible to replace *C. citriodora* by new species for use as a gatepost chemically preserved. The results demonstrated the effectiveness of preservative treatment in different species with retention values ranging between 5,2 and 11,7 kg/m³, respectively for the species *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 half four with pressure and *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 with 2 hours of pressure, allowing a wide variation to differentiate and characterize the species studied.

Keywords: Chemical species preservation, chemical treatment of wood, CCA-C, ful cell and autoclave.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* spp., é o mais plantado no Brasil, embora algumas características ligadas as espécies desse gênero podem se tornar um inconveniente no momento da utilização, principalmente, em peças que terão contato com solo (ABRAF, 2011 e ARAÚJO et al., 2012).

Um inconveniente da madeira é a vulnerabilidade a agentes degradadores que a tornam impróprias para o uso, chamados agentes xilófagos. Existe, portanto, a necessidade de imunizar a madeira de *Eucalyptus* spp. contra esses agentes degradadores. Contudo, o sucesso de um tratamento industrial de preservação de madeira é dado pela eficiência do processo, sendo que a madeira deve ser adequada, o produto preservativo deve ser eficiente e impregnado na quantidade certa de modo economicamente viável. Para que isso seja cumprido existem normas a serem adotadas. A ABNT-NBR 8456 padroniza os postes de madeira preservados, a ABNT-NBR 6232 regulamenta a penetração e retenção dos diferentes produtos preservativos para diferentes utilizações e a ABNT-NBR 9480 regulamenta a preservação de peças roliças, entre outras. Essas normas mostram as características desejáveis quanto às dimensões e aos padrões de resistência física e biológica dos produtos preservados de madeira.

Contudo, por uma questão de mercado e características intrínsecas ao material, a madeira mais utilizada para a preservação química é o *Corymbia citriodora*. Embora essa madeira apresente boa qualidade, não é a mais plantada no país, e apresentando poucas áreas de plantio em algumas regiões. Surge então, a necessidade de estudar as demais espécies de *Eucalyptus* spp. a fim de substituí-la por outra. Porém, através de análise do cenário atual do reflorestamento, constata-se que as espécies mais plantadas tiveram seu melhoramento voltado para indústrias de papel e celulose, indústrias siderúrgicas e de chapas de madeira reconstituída.

Entretanto, essas espécies apresentam características diferentes entre si e devem ser estudadas para que seja relacionada as mais adequadas para o uso como peças roliças tratadas quimicamente.

Assim, verifica-se a necessidade de selecionar espécies com potencial para substituir o *C. citriodora*, em tratamentos preservativos industriais e adequar o tempo de pressão durante o tratamento químico de todas essas espécies.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial de nove espécies de *Eucalyptus* spp. para substituir o *Corymbia citriodora*, no tratamento preservativo industrial.

Os objetivos específicos foram:

1. Verificar a qualidade dos mourões de nove espécies de *Eucalyptus* spp. tratados com CCA-C, através do índice de rachaduras e fendas, da massa específica a 0% de umidade, da massa específica básica e da penetração e retenção do produto químico na madeira;
2. Adequar o tempo de pressão do processo de preservação de célula-cheia, em autoclave, para as diferentes espécies selecionadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Durabilidade natural da madeira

A degradação da madeira surge como resultado da ação de agentes abióticos (físicos, químicos e mecânicos) ou biológicos que agem sobre este material ao longo da sua vida útil (CRUZ, 2001; LEPAGE et al., 1986).

A madeira exposta a atmosfera está sujeita a ação de agentes químicos e agentes poluidores e apresenta um fenômeno chamado intemperismo (LEPAGE et al., 1986). Agentes atmosféricos, luz solar e chuva, provocam alteração na cor e na textura da madeira, podendo chegar a comprometer as suas propriedades físicas e químicas. Uma decomposição química dos compostos da madeira por uma ação da radiação ultravioleta corresponde a uma deterioração superficial de até 2,5mm abaixo da superfície da madeira, com conseqüências estéticas (CRUZ, 2001; SILVA e PASTORE, 2004).

Naturalmente a madeira passa por um processo de degradação após ser abatida ou morta e são inúmeros os agentes biológicos que causam essa degradação (BATALHA, 1961). Pode ser descrita uma sucessão de 6 grupos fisiológicos de microrganismos que infestam a madeira, os quais ocorrem nessa ordem: (1) bactérias; (2) bolores primários; (3) fungos manchadores; (4) fungos de podridão mole; (5) basidiomicetos apodrecedores; (6) bolores secundários. Dentre eles fungos e insetos são os mais frequentes, tendo maior expressão de ataque na linha de afloramento (BATALLA, 1961; COSTA et al., 2005; ZENI et al., 2006; PAES, 2002).

Os agentes biológicos (insetos e fungos) reconhecem a madeira como fonte nutricional e alguns desses possuem um sistema enzimático capaz de metabolizar os polímeros naturais da parede celular em unidades digeríveis (LEPAGE et al., 1986; ZENI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2005; ROGRIGUES et al., 2011; SILVA e PASTORE, 2004)

A presença de fungos na madeira tem relação com o teor de água. A proliferação dos fungos ocorre mais intensamente com teores acima de 20%, estando o teor máximo de água ligado a quantidade de oxigênio livre tolerado por cada um dos fungos (CRUZ, 2001).

Os fungos que degradam a madeira e suas ações estão descritos por KATO et al. (1970) e LEPAGE et al. (1986): (1) Fungos xilófagos manchadores: são

organismos que se alimentam dos conteúdos celulares, como por exemplo amido, açúcares, etc., as suas hifas se desenvolvem nas cavidades celulares causando descoloração dos tecidos lenhosos, desvalorizando o valor comercial das madeiras; (2) Fungos xilófagos deterioradores ou degradadores: estes fungos se alimentam dos componentes químicos das paredes celulares (celulose, hemiceluloses e lignina), conseqüentemente são agentes causadores da destruição da madeira.

Conforme a modalidade de decomposição, os fungos xilófagos se subdividem em: (1) Fungos de podridão Branca: é provocada por fungos que degradam a celulose, hemiceluloses e lignina. Neste caso a coloração da madeira torna-se esbranquiçada; (2) Fungos de podridão parda: é ocasionada por fungos que degradam a celulose e deixam a lignina de cor castanha ou marrom. Neste caso a madeira adquire uma coloração enegrecida ou castanho avermelhado; e (3) Fungos de podridão mole: são os fungos que causam a podridão característica, dando uma aparência esponjosa a madeira. A camada afetada geralmente se restringe há alguns milímetros de profundidade e a superfície se apresenta com trincas transversais e aparência de carbonizada (KATO et al., 1970; LEPAGE et al., 1986; OLIVEIRA et al., 2005; ZENI et al., 2006).

A degradação desses agentes não ocorre igualmente em toda a extensão de um mourão, existe uma particularidade quanto a distinção entre cerne e albúrnio em função da capacidade de penetração por substâncias preservativas. É muito comum a impermeabilidade do cerne do eucalipto a substâncias preservativas, daí a grande importância na escolha de espécies que possuam alguma durabilidade natural aos organismos xilófagos, principalmente na porção do cerne (OLIVEIRA, et al. 2005; SILVA, 2008). Certas madeiras têm notável resistência natural ao ataque dos fungos, e essa variação de resistência pode ser explicada pela complexidade química e estrutural da madeira e com sua quantidade de extrativos (BATALLA, 1961; LEPAGE et al., 1986).

Considerando que a resistência natural do cerne é importante na espécie utilizada, Oliveira et al., (2005) estudou a resistência natural ao apodrecimento de sete espécies de *Eucalyptus spp.*, em ensaio de laboratório, sob ação de fungo da podridão-parda, *Gloeophyllum trabeum* por cerca de 12 semanas. Foram utilizadas amostras do cerne das seguintes espécies: *C. citriodora*; *Eucalyptus tereticornis*; *Eucalyptus paniculata*; *E. pilularis*; *E. cloeziana*; *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, aos 16 anos de idade. O autor

classificou esses materiais como sendo resistentes ao ataque natural de fungo, pois eles apresentaram perda de massa média sempre abaixo de 10%, ao fim do ensaio acelerado de durabilidade natural.

Zeni et al. (2006) avaliou o ataque do fungo de podridão branca *Agrocybe perfecta* nas espécies, *E. cloeziana*, *Eucalyptus mycrocoris*, *Eucalyptus umbra*, *C. citriodora* e *C. maculata*, e concluiu que todas as espécies estudadas apresentaram alta resistência à degradação pelo fungo. Contudo a espécie *C. maculata* foi a que sofreu uma maior perda de massa na região do alburno, em média 8,79% da sua massa original, e a espécie *E. cloeziana* foi a que apresentou menor perda de massa (0,75%) quando submetida ao respectivo fungo, e portanto foi indicada para o uso como poste, mourões de cerca e vigas.

Paes (2002) realizou um experimento que avaliou a deterioração por fungos e cupins de solo na madeira de *C. maculata*, com 21 anos de idade. O experimento levou em consideração a posição da peça no sentido medula casca. Foram retiradas peças a altura do DAP em 4 posições, sendo a primeira mais próxima a medula e a quarta mais próxima a casca, assim conseguiu-se diferenciar a deterioração de cerne e alburno. Verifica-se nos resultados que os fungos deram preferência por atacar o exterior da madeira, tendo classes de perda de massa abaixo de 10% no interior da madeira e perda de massa perto dos 20% nas regiões mais externas. Quanto ao ataque dos cupins, todo o lenho da madeira teve ataque pouco expressivo com perdas de massa abaixo de 7%, em todas as amostras, e ao final experimento houve mortalidade de 100% dos indivíduos dos cupins utilizados. Paes atribui essa mortalidade à concentração de extrativos presentes no material. Segundo Lepage et al. (1986) essas substâncias conferem a madeira uma toxicidade natural ou repelente natural ao ataque de insetos. Contudo, a composição desses extrativos varia entre as espécies florestais e tem a sua ação potencializada em função da espécie de inseto xilófago.

Dos insetos que atacam a madeira, os besouros e os cupins estão entre os que causam os piores danos. Traças, vespas, mariposas, crustáceos, moluscos e outros causam danos em menor escala de importância. Os insetos degradam a madeira de duas formas, depositando seus ovos em peças de madeira fazendo com que as larvas se alimentem do material lignocelulósico ou utilizando a madeira diretamente como fonte de alimento para o inseto adulto (BORROR, 1988; LEPAGE et al., 1986; SILVA e PASTORE, 2004).

Embora seja grande o número de insetos que se alimentam de

madeira, nem todos tem por si a capacidade de digerir a celulose. Alguns, como os cupins, apresentam protozoários simbiotes no seu sistema digestivo, outras espécies se aproveitam de material previamente digerido pelos fungos, para se alimentarem (LEPAGE et al., 1986; SILVA e PASTORE, 2004; PAES, 2002; RODRIGUES, 2011; COSTA et al., 2005).

A severidade do ataque de cupins a madeira do *Eucalyptus* spp. tem relação com a idade. Silva e Pastore (2004) estudando o *E. grandis* identificou maior resistência ao ataque do cupim *Cryptotermes brevis* entre as idades de 14 e 25 anos, sendo que as amostras com 10 anos foram severamente atacadas. Para isso, Silva e Pastore (2004) utilizaram notas de 0 (nenhum ataque) a 4 (dano profundo) para classificação de danos. Os resultados não diferiram estatisticamente entre as idades 14, 20 e 25 anos, apresentando uma nota média 3, e para a idade de 10 anos a nota de avaliação foi 4.

Paes (2002) demonstrou que *C. maculata*, aos 21 anos, apresenta boa resistência ao ataque de cupins subterrâneos do gênero *Nasutitermes*, com média de 5,5% de perda de massa. Rodrigues (2011) demonstra que o *Coptotermes gentoi* é uma espécie de cupim que causa poucos danos a madeira de *E. urophylla* e *C. citriodora* com 21 anos. Em experiência avaliada conforme a norma ASTM D3345 (1994), os autores observaram perda de massa média de 2,8%, após 12 semanas de ensaio acelerado em laboratório.

A ação desses degradadores na madeira pode ser diminuída devido a eficiência da preservação na durabilidade de madeira de *Eucalyptus* spp. e outros gêneros de espécies. Nas avaliações de campo de apodrecimento fica evidente que enquanto a madeira “in natura” resiste em média de 2 a 4 anos, as madeiras preservadas pelo método de célula cheia resistem por mais de 10 anos (COSTA et al., 2005).

3.2. Preservação da madeira

A preservação de madeira tem por principal finalidade proteger a madeira da degradação de agentes biológicos, como fungos, insetos, brocas, entre outros. (ARALDI et al., 2008). Dessa forma preservar madeira consiste no conjunto de técnicas e métodos destinadas a aumentar a durabilidade da madeira, podendo ser dividida em preservação natural, indireta, biológica e química, que mesmo após vários anos de uso apresentem resíduos capazes de evitar o ataque de fungos (ABIMCI, 2004; SILVA e

PASTORE, 2004; PAES, 2002; RODRIGUES, 2011; COSTA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005; ZENI et al., 2006)..

Historicamente o setor da preservação se desenvolveu a partir do século XIX ligados as ferrovias e linhas de transmissão de energia (CAVALCANTE, 1983). A partir de 1830 já existia o creosoto, embora ainda não existisse um método eficaz de impregná-lo na madeira. Esse método de impregnação melhorou com o processo do banho quente-frio, onde se utilizavam equipamentos rudimentares para prover um choque térmico que facilitava a penetração desse produto na madeira (LEPAGE et al., 1986).

O precursor dos métodos modernos de tratamento foi desenvolvido em 1831 quando o francês Jean Robert Bréant patenteou seu método de impregnação sob pressão. A era industrial da preservação de madeira foi consolidada com o processo de célula cheia patenteada por John Bethell, em 1838, para aplicação do creosoto sob pressão. Esse método de célula cheia foi melhorado por Burnett que utilizou produtos hidrossolúveis no processo de preservação de madeira (LEPAGE et al., 1986).

No Brasil, a primeira usina de preservação de madeira foi instalada pelo Governo Federal em Juiz de Fora – MG, em 1900, com a finalidade de tratar dormentes ferroviários. Em 1945 foi instalada a segunda usina em Rio Claro – SP, com o objetivo de tratar postes de eucalipto. Nesse mesmo ano instalou-se no IPT, a primeira usina de preservação para fins de pesquisa tecnológica (CAVALCANTE, 1983).

Na década de 1960 houve a instalação de uma grande quantidade de usinas de preservação no país em diferentes estados da federação, tais como: Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná, Ceará, Goiás, Bahia, Rio de Janeiro e Santa Catarina. Nesse período também foram promulgadas leis regulamentando a utilização da madeira preservada no Brasil. Dentre elas destaca-se a lei federal nº4797 de 20/10/1965 e os decretos-lei 58.016 de 18/03/1966 e 61.248 de 30/09/1967. Em 1967 foi criado o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. A década de 1960 termina com a formação da ABPM –Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, em 1969, como uma sociedade civil de direito privado (LEPAGE et al., 1986).

Existem duas categorias principais de preservação: (1) o processo industrial ou processo com uso de pressão; e (2) o processo caseiro ou processo sem uso de pressão. O método sem pressão tem vantagens ligadas ao baixo custo, à possibilidade de

produção em pequenas quantidades em propriedades rurais, dispensa aquisição de equipamentos caros e quando efetuado adequadamente propicia bom comportamento da madeira em uso. O processo industrial tem como suas principais vantagens a grande quantidade de madeira tratada em pouco tempo, alta eficiência com a distribuição uniforme do preservativo nas peças e a rápida retenção pré-estabelecida, tudo ligado a um controle de qualidade acurado (WEHR, 1985). Em comparação com o método sem pressão, o método industrial de preservação de madeira produz maior volume de madeira tratada para o mercado atual.

3.2.1. Processo sem uso de pressão

Diversos métodos de tratamento não requerem equipamentos sofisticados para preservação de madeira, dentre eles podemos citar o método do pincelamento, o método do banho quente frio e o método da substituição de seiva (JANKOWISKY, 1990; WEHR, 1985; LEPAGE et al., 1986).

O pincelamento é o método mais simples de preservar a madeira, onde o produto químico é simplesmente pincelado pela superfície da madeira (LEPAGE et al., 1986). Para o processo do banho quente frio a madeira deve estar seca e sem casca. O produto usado na preservação pode ser o pentaclorofenol a 5%, creosoto ou uma mistura de creosoto com alcatrão em partes iguais. No processo são utilizados dois recipientes, um com o produto aquecido a cerca de 100° C e outra com o produto frio. A madeira será imersa no banho quente por aproximadamente 2 horas e depois transferida rapidamente para o banho frio onde ficará imersa por 4 horas. A função da diferença de temperatura é formar um gradiente de pressão, sendo que o banho quente causa uma expansão do ar contido no interior da madeira e com o resfriamento do banho frio esse ar se contrai formando um vácuo que fará absorver o produto. Haverá certa penetração de produto durante o banho quente mas essa penetração será bem mais expressiva com o vácuo formado no banho frio, resultando em uma absorção de cerca de 96 a 128 kg /m³ de madeira (JANKOWISKY, 1990).

Já, no processo de substituição de seiva a madeira é colocada ainda verde em tambores com solução contendo o produto de tratamento, de forma que uma extremidade fica imersa e a outra extremidade fica fora do contato com o líquido, no sentido vertical. Esse processo é lento e requer muitos cuidados para que se obtenha êxito. A base do

processo é simples, conforme a madeira perde umidade pela extremidade que está fora da solução, ocorre a absorção do líquido preservativo pela extremidade imersa por um fenômeno chamado de capilaridade. Os preservativos mais indicados para esse método são os hidrossolúveis, CCB ou FCAP (JANKOWISKY, 1990). Salienta-se que, a velocidade de reação do CCA é rápida e que durante o período de translocação do produto o início da fixação se dá antes mesmo do fim da troca de seiva estar completa (LEPAGE et al., 1986).

A eficiência do método de preservação sem pressão foi avaliada por Galvão e Jankowsky (1986) em madeira de *Eucalyptus urophylla* retirada de árvores com 5 anos de idade. Foram utilizados os métodos de pincelamento, imersão a frio e a transpiração radial (substituição de seiva). Foi observado que após um período de 11 anos de avaliações, a durabilidade da madeira não tratada foi de apenas 2 anos, assim como o método de pincelamento que teve durabilidade igual ao material não preservado. O método de transpiração radial obteve uma grande eficiência, com valores estimados de duração acima dos 11 anos para os mourões tratados e submetidos ao ensaio de campo de apodrecimento.

Algumas variações do processo de substituição de seiva podem melhorar os resultados de tratamento. Torres et al. (2011) preservou o *E. camaldulensis* com o método de substituição de seiva com prazo de imersão total de 8 dias na solução de tratamento sendo que o autor utilizou duas metodologias, uma em que os mourões permaneciam imersos em uma posição por 8 dias e outra em que os mourões permaneciam imersos em uma posição por 6 dias, eram invertidos e permaneciam mais 2 dias com a outra extremidade imersa. A inversão da face do palanque que está imerso durante o processo de substituição de seiva causou uma maior regularidade de preservação enquanto que as peças que não foram invertidas obtiveram um resultado maior de retenção na base e resultado de retenção no topo abaixo do mínimo estabelecido pela norma ABNT – NBR 9480 (2009). Esse processo mostrou que as peças não invertidas durante o tratamento de substituição de seiva tiveram resultados de retenção de 20,29 kg/m³ na base e 4,56 kg/m³ no topo, enquanto que as peças invertidas apresentaram retenção de 10,95 kg/m³ na base e 12,03 kg/m³ no topo.

Ramos et al. (2006) no estudo sobre o processo de preservação da madeira de *Prosopis juliflora* (Algaroba) pelo método da substituição de seiva, avaliou a variação da concentração de ingrediente ativo 1, 2 e 3% de CCB e o tempo de imersão do processo preservativo durante 3, 6, 9, 12 e 15 dias. Depois de tratadas, as peças foram

empilhadas e secas por um período de 20 dias. Nos resultados mostrou-se que as concentrações 1 e 3% não atingiram a retenção de 6,5 kg/m³ em nenhum dos tempos avaliados. A concentração 2% atingiu retenções acima de 6,5 kg/m³ com mais 12 ou 15 dias de tempo de preservação. A avaliação no sentido base / topo na posição da peça demonstrou que estatisticamente o primeiro terço se diferenciou dos dois seguintes, com resultados médios de perda de massa de 2,8; 5,86; 7,49 %, respectivamente. Esses valores demonstram que o processo de preservação sem pressão é dependente do tempo e que a concentração de 2% obteve a melhor eficiência de preservação das peças e que a variação ao longo das peças é fato presente nesse método de preservação.

Costa et al. (2005) avaliou a eficiência de métodos de preservação na durabilidade de mourões de *E. saligna*, *E. grandis*, *Pinus elliottii* e *Sclerolobium paniculatum* em campo de apodrecimento durante 10 anos. Essa pesquisa avaliou a resistência das espécies sem preservação e das preservadas por três métodos, sendo dois sem pressão (substituição de seiva e banho quente e frio) e um com pressão. A avaliação foi feita por meio de notas de 0 a 10 onde 0 é a maior severidade de destruição e 10 é a menor severidade de destruição. Os resultados demonstraram que as amostras preservadas pelo método sem pressão tiveram durabilidade acima das peças sem preservação. O material não preservado das duas espécies de *Eucalyptus* spp. e do *P. elliottii* obtiveram índice 0 de sanidade, enquanto que a espécie *S. paniculatum* obteve nota 2,8. Quando preservadas sem pressão, as espécies, apresentaram notas entre 8 e 9 para *Eucalyptus* spp., notas entre 6 e 7 para *P. elliottii* e nota 9 na média para *S. paniculatum*. Os melhores resultados dentre os tratamentos ocorreram com o método de preservação de célula cheia em que as espécies *E. grandis*, *P. elliottii* e *S. paniculatum* apresentaram notas entre 9,5 e 10 e a espécie *E. saligna* apresentou notas entre 8,2 e 10.

3.2.2. Processo de preservação industrial

O processo industrial utiliza uma usina de preservação, composto por uma autoclave (cilindro de aço de dimensões variadas), onde são colocadas as madeiras no sentido horizontal e pelo uso alternado de vácuo e pressão o líquido é impregnado no lenho da madeira e sofre inúmeras ligações químicas para ser fixado (JANKOWSKY, 1990).

Três fatores estão diretamente ligados ao processo de preservação industrial: (1) A pressão aplicada, o tempo de pressão e a temperatura do líquido preservativo. A pressão é responsável principalmente pela penetração do líquido na madeira, quanto maior a pressão, maior a penetração; (2) O tempo de pressão também influencia a penetração, quanto maior o tempo de pressão maior será a penetração e retenção do preservativo na madeira; E (3) a temperatura tem influência diretamente proporcional a viscosidade do líquido preservativo, de forma que quanto maior a temperatura, menor será a viscosidade e melhor a penetração do produto na madeira (DEFAVARIM et al., 2007).

Existem dois processos industriais principais, o método de célula cheia e o método de célula vazia. Lepage et al. (1986), explica que no processo de célula vazia não é aplicado o vácuo inicial. Com isso, o preservativo é injetado na madeira sem a retirada do ar do interior das células, causando uma compressão do ar dentro da madeira durante o período de pressão. Após o término do período de pressão, o ar pressurizado expulsa parte do preservativo que havia penetrado na madeira. Com o processo de célula vazia consegue-se uma boa penetração sem muito consumo de preservativo. Existem dois processos principais de célula vazia, o de Lowry e o de Rueping: (1) Lowry, injeta-se o preservativo contra o ar já existente na madeira, portanto a pressão atmosférica; e (2) Rueping consiste na compressão inicial do ar na madeira até uma pressão de 4,5 a 5,0 kgf/cm², e posteriormente o preservativo é recalado para dentro da autoclave, sem que seja permitida a queda da pressão. Posteriormente o produto é pressionado para o interior da madeira. Ao fim do ciclo, o ar inicialmente pressurizado no interior da madeira chega a expulsar até dois terços do preservativo absorvido (LEPAGE et al, 1986).

Segundo Lepage et al. (1986), existem diferentes processos de célula cheia, entre eles: (1) O processo Bethell, desenvolvido por John Bethell em 1838, que é dividido em fases dentro da autoclave. Iniciando pelo carregamento, passando por um vácuo inicial visando extrair parte do ar das camadas superficiais da madeira, com o objetivo de facilitar a entrada do preservativo oleossolúvel, após esse período aproveita-se o vácuo existente no interior da autoclave para admissão do preservativo quente (entre 80° e 100° C). Assim que é completado o nível de solução na autoclave inicia-se o tempo de pressão até que toda a madeira tenha absorvido quantidade suficiente do preservativo, após esse tempo de pressão a solução preservativa é retirada e por fim a madeira passa por um vácuo final de curta

duração com a intenção de retirar o excesso de preservativo sobre a superfície da madeira; (2) O processo Burnett, patenteado em 1838, segue os mesmos passos do processo Bethell, com a diferença de utilizar preservativos hidrossolúveis a temperatura ambiente; e (3) O processo Boulton utiliza o vácuo inicial na própria solução preservativa, mantida entre 80° e 100°C para retirar a água da madeira para que ela possa receber a solução preservativa, o restante do processo segue as orientações do processo Bethell.

O método de preservação de LOWRY foi avaliado em comparação com o método de célula cheia em madeira de *Pinus* sp. Sendo que a preservação com produtos hidrossolúveis (CCA e CCB) foi feita pelo método de célula cheia e a preservação com pentaclorofenol foi pelo método de célula vazia (LOWRY). As apresentações dos resultados demonstraram que a preservação por célula cheia com CCA-C apresentou resultados de retenção entre 4,88 kg/m³ e 8,75 kg/m³. A preservação com CCB apresentou resultados entre 4,08 kg/m³ e 10,60 kg/m³. Enquanto que a preservação por célula vazia com preservativo pentaclorofeno apresentou 2,99 kg/m³ e 14,52 kg/m³. Nota-se que o processo de célula vazia causou uma maior variação entre as retenções, com valores extremamente baixos de retenção (2,99 kg/m³) (BABILLARI, 2002).

Defavarim et al. (2007) utilizou pressão de 4 e 7 kgf/cm² por 6, 9 e 12 horas na tentativa de impregnação do cerne da madeira de *E. grandis*. O processo utilizado foi o de LOWRY (célula vazia) com solução de sulfato de cobre a 1% de ingrediente ativo. O autor demonstrou que a maior média de penetração de produto químico ocorreu com tempo de 12 horas a pressão de 7 kgf/cm², 0,0282 g/cm³. E o menor valor de penetração ocorreu com 6 horas de pressão a 4 kgf/cm², 0,0195 g/cm³.

Atualmente o processo de preservação mais utilizado em autoclave é o processo de Burnett, processo de célula cheia, e praticamente pode ser dividido em cinco etapas que são basicamente: (1) Vácuo inicial de pelo menos 560 mmHg, por no mínimo 30 minutos; (2) Enchimento da autoclave com a solução preservativa sem aliviar o vácuo; (3) Aplicação da pressão de preservação, de 12 kg/cm², por duas horas; (4) Retirada da pressão e retorno da solução; e (5) Aplicação de um vácuo final apenas durante o tempo necessário para que seja retirado o excesso do produto da superfície da madeira, (em torno de 10 a 15 minutos) (ABIMCI, 2004).

Um estudo sobre o processo de célula cheia foi realizado para a preservação de *Pinus elliottii* e *C. citriodora*. Para tanto foi realizada a preservação em autoclave com 30 minutos de vácuo a 620 mmHg, 2 horas de pressão a 12 kgf/cm² e 30 minutos de vácuo final com a mesma intensidade do inicial. Nesse experimento variou-se a concentração de ingrediente ativo do produto químico em 1, 2 e 4% na solução de preservação. Com esses parâmetros encontrou-se resultados de retenção para o CCA-C na ordem de 5,4 kg/m³, 11,3 kg/m³ e 23,0 kg/m³, respectivamente quando utilizou-se concentrações de 1%, 2% e 4% de I.A. do produto (SILVA, 2008).

Valle (2009) utilizou o processo de célula cheia com tempos de 30 minutos de vácuo inicial a 560 mmHg, pressão de 12 kg/cm² por um período de 1,5 horas e um vácuo final de 15 minutos a 560 mmHg. Com uma solução a 2% de ingrediente ativo de CCA na preservação de clones da espécie *E. urophylla*, na primeira e na segunda rotação de cultivo com idade de 5 anos. O autor apresenta resultados que demonstram que pode haver diferença significativa de retenção entre a madeira de primeira e segunda rotação do clone 0182, que apresentava respectivamente valores de 8,98 kg/m³ na primeira rotação e 8,22 kg/m³ na segunda rotação. Embora o clone 0296 não tenha apresentado diferença significativa entre a retenção da primeira rotação (8,72 kg/m³) e a retenção da segunda rotação (8,78 kg/m³). Com tudo, podemos concluir que o tempo de 1,5 horas de pressão é suficiente para preservar essa espécie nessas condições de pressão e concentração de ingrediente ativo.

A utilização do CCA-C na preservação de madeira de *C. citriodora* sob o método de célula cheia com vácuo inicial de 555 mmHg por 40 minutos, pressão de 23kgf/cm² por duas horas e vácuo final de 440 mmHg por 10 minutos, demonstra que essa combinação promoveu retenção acima de 6,5 kg/m³ de produto químico e ótimos resultados de durabilidade com nenhum caso de podridão ao 5 ano (ARAUJO et al., 2012).

Evangelista (2011) demonstrou que a retenção de produto químico CCA-C em clones de *Eucalyptus* spp., sobre o processo de célula cheia de preservação industrial, não apresentou grandes variações nas madeiras de *E. urophylla* e *C. citriodora*. Foi utilizado tempo de 30 minutos de vácuo inicial a 560 mmHg, pressão de 12 kgf/cm² por tempos de 60, 90 e 120 minutos e tempo de 10 minutos de vácuo final a 560 mmHg. Para o *E. urophylla* obteve resultados de 7,82 kg/m³ com 60 minutos, 8,39 kg/m³ com 90 minutos e 8,95 kg/m³ com 120 minutos. Para *C. citriodora* obteve resultados de 6,84 kg/m³ com 60 minutos,

6,5 kg/m³ com 90 minutos e 6,62 kg/m³ com 120 minutos. Demonstrando que a variação de tempo proposta teve pouca interferência na retenção de produto químico pela madeira.

3.2.3. Produtos preservativos de madeira

Os produtos de preservação visam impedir uma ação natural de ciclagem de nutrientes do material lenhoso. Os agentes biológicos associados à degradação da madeira não são seletivos a ponto de separar o material lenhoso que deve ser degradado (folhas, galhos e troncos sem utilidade) e o material que ainda tem utilidade ao homem, dessa forma agem em palanques, madeiramento de estruturas e outros objetos que ainda estão em uso. A solução para a redução da ação é a utilização de produtos químicos que envenenem o alimento desses agentes, impedindo assim sua degradação. (JANKOWSKY, 1990).

A preservação aumenta a vida útil da madeira, dessa forma o tratamento preservativo é economicamente viável com o aumento da vida útil da madeira tratada em relação a não tratada (CAMPOS et al., 2003).

Lepage et al. (1986) e Batalla (1961) citam uma série de requisitos que os preservativos devem satisfazer: (1) Eficiência: deve ser tóxico a uma grande quantidade de organismos xilófagos e ter formulação que permita uma penetração profunda e regular na madeira; (2) Segurança: deve apresentar baixa toxicidade a seres humanos e animais, não aumentar a característica combustível da madeira, e não deve ser corrosivo a metais e plásticos a fim de não trazer riscos a estruturas montadas com madeiras que sejam unidas por pregos ou parafusos, que possam ter desgaste prematuro proveniente da oxidação induzida pelo preservativo; (3) Permeabilidade e resistência a lixiviação: ação que depende das propriedades físicas e químicas do preservativo e da forma com que esse preservativo se fixa a madeira; (4) Custo: o custo benefício é sem dúvida o fato que pode ser fator limitante para a utilização de um determinado preservativo em processos de preservação de madeira, pois um produto caro não tem espaço no mercado; (5) Outras características que podem ser inerentes a produtos específicos: como a baixa condutividade elétrica para produtos de redes ferroviárias e eletrificação, inodoro, incolor e com a possibilidade de serem pintados por produtos que tenham apelo estético, construções ou embalagens.

Os produtos preservativos são classificados de acordo com suas características físicas e químicas, sendo divididos em dois grandes grupos: (1) os oleosos e oleossolúveis, e (2) os hidrossolúveis. Essa divisão está ligada a forma de diluição do produto no momento de uso, os oleossolúveis são diluídos em óleo e os hidrossolúveis são diluídos em água (ABIMCI, 2004; LEPAGE et al., 1986). Atualmente os produtos mais utilizados são os hidrossolúveis (RAMOS et al., 2006; BRAZOLIN, 2004; ARAUJO et al., 2012)

Costa et al. (2005) avaliou a durabilidade de mourões de *E. saligna*, *E. grandis*, *Pinus elliottii* e *Sclerolobium paniculatum* em campo de apodrecimento durante 10 anos. Nessa pesquisa 4 produtos químicos foram usados, sendo dois na preservação sem pressão e dois para a preservação com pressão. No processo sem pressão foi utilizado um oleossolúvel COQ (Creosoto com Óleo queimado) e um hidrossolúvel FCAP (Fluor, Cromo, Arseniato e Fenol), na preservação com pressão foram usados um oleossolúvel CR (Creosoto) e um hidrossolúvel CCA (Cobre, Cromo e Arsênio). A avaliação foi feita por meio de notas de 0 a 10 onde 0 é a maior severidade de destruição e 10 é a menor severidade de destruição. Os resultados demonstraram que no processo sem pressão toda madeira preservada com produto oleossolúvel COQ teve durabilidade maior que a madeira preservada com hidrossolúvel FCAP. Para *E. grandis* os resultados médios foram nota 9,8 para COQ e 9,2 para FCAP. Nos processos com pressão o *E. grandis* teve durabilidade alta com os dois produtos, com nota 10 no CCA e CR, demonstrando que os dois produtos conseguiram suportar perfeitamente a degradação nos 10 anos.

Galvão e Jankowsky (1986) estudaram a ação de 8 produtos preservativos em madeira de *E. urophylla*. Foram utilizados: (1) tinta de asfalto; (2) Wolmanite URT; (3) Bolidem K33 (equivalente a Osmose K33 óxido, CCA-C); (4) Dowcide 7 (Pentaclorofenol); (5) Dolcide G (Pentaclorofenol de sódio); e três misturas próprias: (6) mistura A (Sulfato de cobre a (50%) e Bicromato de potássio a (50%)); (7) mistura B (Cloreto de Zinco em solução de 50% (79%), Bicromato de Potássio (50%) e Acido Crômico (3%)); e (8) mistura C (Sulfato de Zinco (80%) e Bicromato de Potássio (20%)). A eficiência desses produtos químicos foi relacionada a durabilidade da madeira em campo de apodrecimento. Dentre os produtos o mais eficiente o Bolidem K-33 (CCA-C) obteve duração estimada de 13 anos, e a mistura A (50% de Sulfato de cobre e 50% de Dicromato de potássio), apresentando durabilidade estimada de 11 a 17 anos. Os demais produtos apresentaram duração de: (1)

Mistura C = 10 anos; (2) Mistura B = 9 anos; (3) Dowcide 7 = 8 anos; (4) Dolcide G = 5 a 8 anos; (5) Wolmanite UTR = 2 anos; (6) Tinta asfalto = 2 anos; e (7) testemunha (sem preservação) = 2 anos.

Ramos et al. (2006) utilizou o produto CCB (Borato de Cobre Cromatado) para realizar um ensaio de apodrecimento acelerado em madeira de *Prosopis juliflora* (Algaroba). Para avaliação considerou-se a classificação dos resultados baseado na classe de resistência que se enquadrava entre Altamente resistente e Não-resistente. A avaliação de perda de massa foi feita com inoculação do fungo *Postia placenta* em função do tempo de preservação e da concentração de ingrediente ativo. Todas as peças preservadas as concentrações 1 e 2% em todos os tempos obtiveram perda de massa abaixo de 8%, caracterizando-as como altamente resistente. As peças com 3% de ingrediente ativo apresentaram valores de perda de massa entre 10 e 12%, caracterizando-as como resistente. Esses valores demonstram a eficiência do CCB em processo de preservação de madeira.

Segundo Brazolin (2004), o mourão tem sua utilidade enquadrada na classe de risco 5 (madeira em contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis a deterioração, como engastes de concreto e alvenaria), para essa classe é indicado que receba tratamento preservativo sob pressão, tendo penetração em 100% do alburno com preservativos oleossolúveis, óleo creosoto, ou preservativos hidrossolúveis CCA-C ou CCB. Dentre esses o CCA-C é o mais utilizado no Brasil (ABIMCI, 2004).

Os produtos hidrossolúveis são os mais utilizados para prevenir o ataque de organismos degradadores. Os hidrossolúveis são uma classe de preservativos constituídos de sais metálicos e flúor, são formulações que incluem compostos de arsênio, cromo, cobre, zinco, flúor e boro, são muito vantajosos tendo uma boa penetração na madeira e apresentam baixo custo (LEPAGE et. al., 1986; BATALLA, 1961).

O CCA-C é um preservativo hidrossolúvel que apresenta boa fixação na madeira e resistência a lixiviação. Trata-se de um dos mais eficientes tratamentos para proteção contra fungos, insetos e brocas marinhas (ABIMCI, 2004). Chamado de Arseniato de Cobre Cromatado, é um reagente que quando impregnado na madeira tem o intuito de preservar a madeira contra agentes xilófagos degradadores. Dessa forma podemos diferenciar a ação dos três componentes ativos do CCA-C: o cobre, o cromo e o arsênio. O cobre age como fungicida, precipitando proteínas e causando interferências no metabolismo dos fungos

por meio de reações enzimáticas. O arsênio possui caráter inseticida, apresentando também toxicidade a muitos fungos. O cromo é o agente que fixa os outros componentes e não tem ação preservante efetiva contra os agentes degradadores, mas sua função de fixação torna os outros componentes resistentes à lixiviação. O CCA é quantificado pela presença do ingredientes ativos (I.A.), que é a soma de três ingredientes CrO_3 , CuO e As_2O_5 , apresentando três formulações básicas: (1) CCA-A com 65,5% de cromo (como CrO_3), 18,1% de cobre (como CuO) e 16,4% de arsênio (como As_2O_5); (2) CCA-B com 35,3% de cromo (como CrO_3), 19,6% de cobre (como CuO) e 45,1 % de arsênio (como As_2O_5); e (3) CCA-C com 47,5% de cromo (como CrO_3), 18,5% de cobre (como CuO) e 34% de arsênio (como As_2O_5), conforme a Tabela 1. A maior eficiência de fixação do CCA está relacionada a relação de sais: Cromo / Arsenio maior que 1,9 e Cromo / Cobre igual a 1,7 (WILLIAMS et al., 1991; LEPAGE et al., 1986).

Tabela 1. Concentrações de Ingrediente Ativo (I.A.) preservativo hidrossolúvel do Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), conforme especificação da norma americana Standard P5-06 da AWPA (2006).

Preservativo Hidrossolúvel	Concentração de CuO (% de I.A.)	Concentração de CrO_3 (% de I.A.)	Concentração de As_2O_5 (% de I.A.)
CCA-A	18,1	65,5	16,4
CCA-B	19,6	35,3	45,1
CCA-C	18,5	47,5	34

Barillari et al. (2002) utilizou os produtos preservativos hidrossolúveis CCA tipo A, B e C, CCB e pentaclorofenol na preservação da madeira de *Pinus* sp. e avaliou a influência do tipo de produto na sanidade das amostras após 21 anos de ensaio de campo de apodrecimento, conforme a classificação de deterioração desde Sadio (nenhum ataque) com índice de 100 até (perda quase total de resistência) com índice de 0. O autor concluiu que o CCA-A apresentou nota acima de 84,3 com ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas. O CCA-B teve nota mínima de 91,1 e apresentou ataque leve ou superficial de fungos ou térmitas. O CCA-C apresentou nota acima de 80 e teve ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas. O CCB teve índice acima de 73,8 com ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas. E a madeira tratada com pentaclorofenol apresentou um

mourão com índice 0 e os demais mourões com valores acima de 20, sendo classificado com perda quase total da resistência.

A utilização do CCA-C na preservação de madeira de *C. citriodora* demonstra que essa combinação pode vir a substituir espécies nativas da Amazônia, conhecidas por serem naturalmente resistentes ao apodrecimento. O produto Osmose K33C (CCA-C) produzido pela empresa Montana química S/A foi utilizado para preservar peças que passaram por processo de ensaio de durabilidade no campo experimental da Embrapa Acre, na região amazônica com avaliações a cada 15 meses. O produto preservativo foi comparado com amostras sem preservação, demonstrando que as amostras sem preservação estavam totalmente destruídas ou ruídas aos 45 meses de avaliação. E que as amostras preservadas passaram pela avaliação de 60 meses com todas as peças sadias, sem sinal de apodrecimento. (ARAUJO et al., 2012).

3.3. Controle de qualidade da madeira preservada quimicamente

3.3.1. Forma e características físicas e mecânicas dos mourões tratados

A norma ABNT-NBR 9840 (2009) define alguns requisitos para uso de madeira como mourões de eucalipto para que possam ser comercializados. Esses requisitos são dimensões, defeitos, características físicas, mecânicas e qualidade do tratamento de preservação.

Essa norma técnica classifica as dimensões dos mourões pelo diâmetro do topo medido em centímetros, e comprimento nominal medido em metros. São aceitas classes de diâmetros com valores máximos e mínimos estipulados para comércio e tolerâncias de comprimento de $\pm 2\%$ do valor nominal. Defeitos como sinais de apodrecimento, avarias no alburno ou fraturas transversais que comprometam a resistência são inadmissíveis aos mourões de *Eucalyptus* spp.

Contudo, admiti-se alguns defeitos nos mourões ligados às curvaturas da madeira. Para um mourão que apresenta curvatura única é permitida uma curvatura máxima de 1,4 cm por metro acima da linha de afloramento, traça-se uma linha imaginária da linha de afloramento até a ponta do mourão e a distância máxima desta linha até o mourão deve ser

inferior a curvatura máxima permitida, esse defeito é chamado de flecha em curvatura em um plano e em uma direção, como demonstrado na Figura 1.

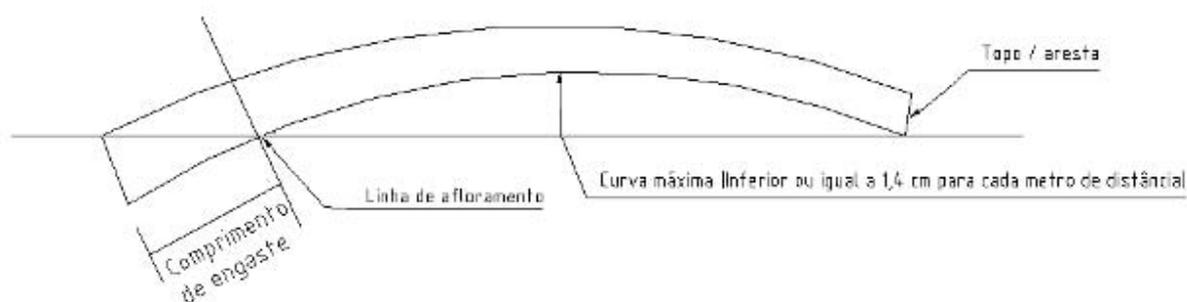


Figura 1. Limite máximo de curvatura em um plano e em uma direção estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009).

Caso o mourão apresente curvatura dupla deve ser possível passar uma linha imaginária por dentro do mourão que ultrapasse as duas seções de topo e base, sem que esta linha de centro exceda alguma das laterais do mourão, esse defeito é chamado flecha em curvatura em dois planos e em uma direção, como demonstrado na Figura 2.

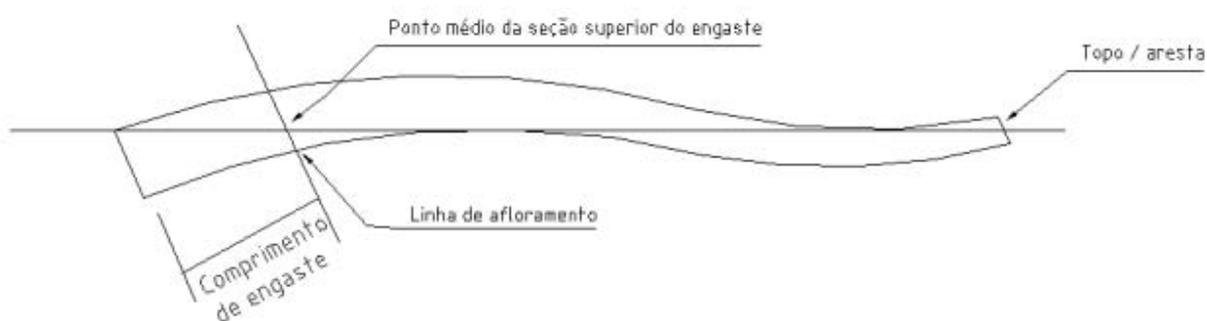


Figura 2. Limite máximo de curvatura em dois planos e em duas direções estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009).

Nenhum mourão deve apresentar sinuosidade que apresente desvio de direção menor que a metade do diâmetro da seção média da parte sinuosa, limite estipulado em qualquer trecho mínimo de 1,5m como demonstrado nas três ilustrações da Figura 3.

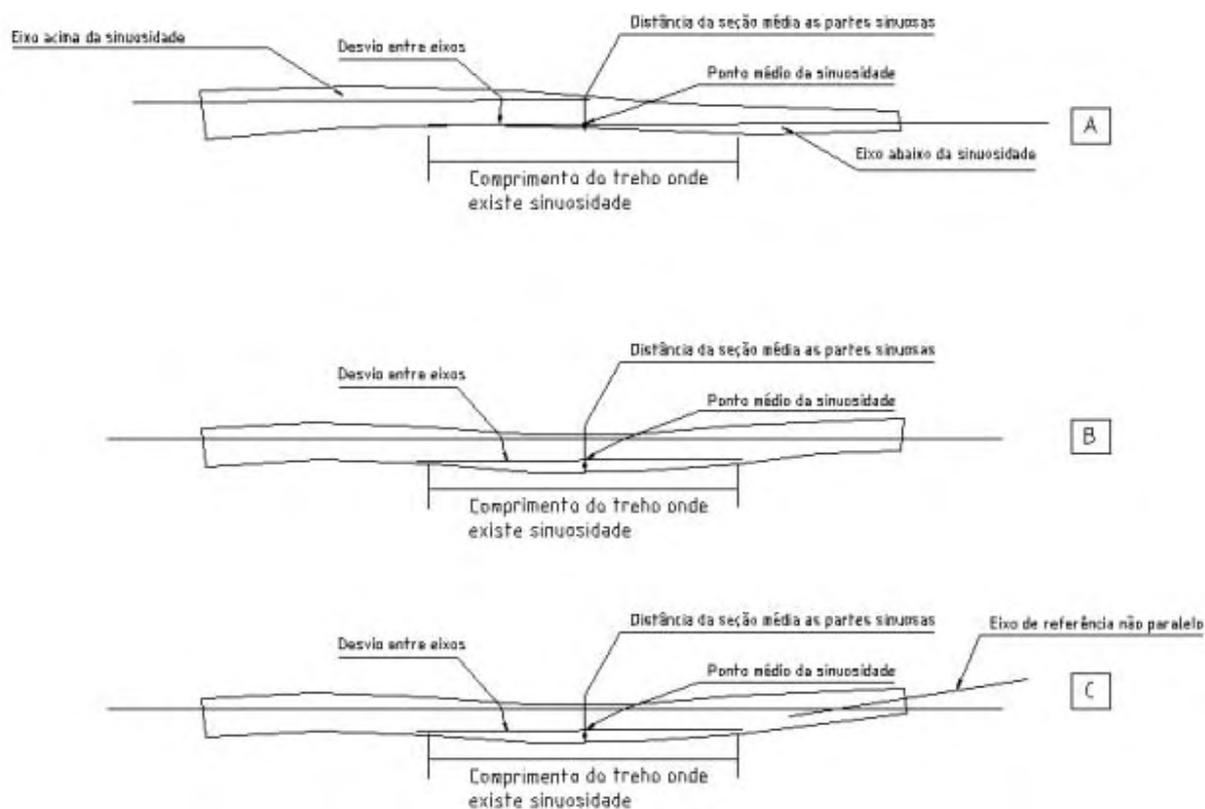


Figura 3. Sinuosidades máximas de mourões preservados estipulado pela norma ABNT NBR 9480 (2009). A – sinuosidade com eixos de referência aproximadamente paralelos; B – sinuosidade com eixos de referência praticamente coincidentes; C – Sinuosidade com eixos de referência não paralelos.

As rachaduras e fendas são defeitos que podem limitar o uso de mourões preservados. São toleradas fendas de no máximo 30 cm de comprimento e 5 mm de abertura na base dos mourões, de 20 cm de comprimento e 5 mm de abertura no topo do mourão, e de 50 cm de comprimento e 5 mm de abertura no corpo do mourão. As rachaduras de topo não devem ter uma abertura que ultrapasse 10% do diâmetro do mourão em peças que apresentarem ângulo entre as rachaduras limitadas a 90°, e não devem apresentar aberturas que ultrapassem 5% do diâmetro do mourão em peças que o ângulo entre as aberturas se estendam além dos 90° entre as aberturas (ABNT – NBR 9480, 2009).

Para as características físicas são estipuladas massa específica básica mínima de 538 kg/m³ e conicidade em diâmetro das peças igual ou inferior a 10 mm/m. A madeira deve apresentar um mínimo de resistência mecânicos definida por resistência a flexão estática conforme a Tabela 2 (ABNT – NBR 9480, 2009).

Tabela 2. Resistência a flexão estática mínima requerida para mourões tratados em função do teor de umidade conforme preconiza a norma ANBT – NBR 9480 (2009).

Teor e umidade (base seca) %	Resistência característica a flexão (MPa)
8	55
10	53
12	52
14	50
16	49
18	48
20	46
22	45
24	44
26	42
28	41
30	40

OBS: Para avaliações de mourões de novas espécies somente 5% das peças podem apresentar resistência a flexão igual ou inferior a tabela indicada (ABNT – NBR 9480, 2009).

A norma ANBT – NBR 9480(2009) aponta duas características importantes, a massa específica básica mínima de 538 kg/m³ e resistência a flexão estática de 52 MPa a 12% de umidade. Evangelista (2007) avaliou as espécies *E. camaldulensis* e *E. urophylla* quanto a sua massa específica básica e característica de resistência a flexão estática. Segundo o autor o *E. camaldulensis* aos 10 anos de idade apresentou massa específica básica de 520 kg/m³ e resistência a flexão estática de 79MPa. O *E. urophylla* com idade de 6 anos que apresentava massa específica básica de 450 kg/m³ e resistência a flexão estática de 76 MPa, essa mesma espécie com a idade de 8 anos, apresentou massa específica básica de 540 kg/m³ e resistência a flexão estática de 97 MPa.

Cruz et al. (2003) comparou a massa específica básica e a resistência a flexão estática em clones de *E. camaldulensis* aos 5,5 anos de idade e clones de *E. urophylla* aos 5,5 e aos 10,5 anos. Observou para o *E. camaldulensis* massa específica básica entre 467 e 501 kg/m³ e resistência a flexão estática de 97 MPa; para o *E. urophylla* aos 5,5 anos variações entre massa específica básica entre 486 e 577 kg/m³ e resistência a flexão entre 90 e 104 MPa e para *E. urophylla* aos 10,5 anos variação entre massa específica básica de 437 e

537 kg/m³ e resistência a flexão entre 78 e 97 MPa.

Avaliação das propriedades da madeira de clone de *E. urophylla*, com 6,3 anos, proveniente da empresa Votorantim Metais Zinco S.A. mostraram que esse material apresentava massa específica básica de 450 kg/m³ e resistência a flexão estática de 76 MPa (EVANGELISTA et al., 2010).

Os clones de híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou médias de resistência a flexão estática superiores a 82MPa para árvores com 5,8 anos que apresentavam massa específica básica de 450 kg/m³. Assim, verifica-se que clones apresentam boa resistência a flexão mesmo com menor massa específica básica (GONÇALVEZ et al., 2009).

Postes de madeira preservada de *Corymbia citriodora*, com idade não mencionada, apresentava resistência a flexão estática de 107 MPa, em amostragem a 12% de umidade (PELIZAN, 2004).

A característica física da madeira de *E. grandis* foi estudada por dois autores em idades diferentes. Calonego (2009) utilizando o *E. grandis* aos 5,9 anos de idade evidenciou módulo de resistência à flexão estática de 69 MPa. Silva et al. (2005) utilizou o *E. grandis* aos 10, 14, 20 e 25 anos de idade, apresentando as variações da característica da resistência a flexão estática. Evidenciando que aos 10 anos a madeira apresentava resistência a flexão estática de 69 MPa, aos 14 anos apresentava resistência a flexão estática de 84 MPa, aos 20 anos apresentava resistência à flexão estática de 96 MPa e aos 25 anos apresentava resistência a flexão estática de 85 MPa. Nota-se um crescimento na resistência do material dos 10 aos 20 anos e após isso um decréscimo até os 25 anos.

Através da literatura apresentada verifica-se que várias espécies de *Eucalyptus* spp. apresentam resistência à flexão estática acima do mínimo estipulado pela norma técnica ABNT – NBR 9480 (2009) apesar do valor de massa específica básica menor que a pré-estabelecida.

3.3.2. Penetração de produto químico

A penetração indica a profundidade atingida e a distribuição do produto no interior da madeira (CAMPOS et al., 2003), podendo ser determinada com o auxílio de reação colorimétrica. A solução colorimétrica é aplicada diretamente sobre o disco da tora cortado e após alguns minutos a porção que apresenta o cromo, presente na solução preservativa, adquire uma coloração azulada, a porção não preservada adquire uma coloração avermelhada (ABNT-MB 790, 1973; CAMPOS et al., 2003).

Algumas características da madeira podem atrapalhar o processo de penetração. A presença de torus nas coníferas, que quando aspirados bloqueiam a passagem de líquidos pelas pontoações, e a presença de tilas nas folhosas que bloqueiam os vasos, principalmente no cerne, obstruindo total ou parcialmente o lume da célula. Em algumas espécies a transformação de alburno em cerne, que é acompanhada pela deposição de várias substâncias orgânicas conhecidas genericamente por extrativos, impede a penetração dos produtos preservativos (LEPAGE et al., 1986).

A profundidade de penetração atinge no máximo o alburno da madeira, que é comumente chamado de porção tratável da madeira. Características do cerne, ligadas principalmente à deposição de extrativos, o torna impermeável durante o processo de preservação, e assim apenas o alburno é capaz de ser penetrado pelos processos convencionais de preservação (ABNT-NBR 9480, 2009; LEPAGE et al., 1986).

Contudo, é imprescindível que as peças apresentem 100% do alburno preservado, para peças suspensas e sem contato com o solo é importante haver o mínimo de 4,0 kg de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira tratável, quando o uso da madeira for em ambiente em contato com o solo o mínimo de 6,5 kg de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira tratável (ABNT – NBR 9480, 2009).

Campos et al. (2003) descreve as possibilidades de penetração do produto químico na madeira, através da avaliação individual do cerne e do alburno conforme a classificação: (1) Penetração total, quando toda extensão do alburno é penetrada pelo líquido preservativo; (2) Penetração parcial periférica, quando toda a periferia da madeira é penetrada por produto químico embora essa penetração não atinja profundidade ao longo da madeira; (3) Penetração parcial e irregular, quando uma parte da periferia da peça é penetrada embora

deixe uma das faces periférica sem penetração de preservativo químico; (4) Penetração vascular, quando o produto químico penetra apenas pelos vasos da madeira, sem atingir outras partes do lenho; e (5) penetração nula, quando não há nenhuma penetração do produto no lenho.

Existe uma relação entre penetração e permeabilidade da madeira, entre outras interferências, permeabilidade é a capacidade que a madeira tem de absorver solução, correspondida pela fração de volume de vazios que é equivalente a quantidade máxima de preservativo comportada na madeira. Embora não seja um fator limitante no tratamento comercial de madeira, a menos que o teor de umidade seja elevado (LEPAGE et al., 1986).

Defavarim et al. (2007) avaliou a penetração de preservativo hidrossolúvel químico em madeira de cerne tratado pelo método de célula vazia com variações de 4 a 7 kg/cm² de pressão por tempos de 6, 9 e 12 horas. Chegou a conclusão que o tempo de pressão não causou efeito no *E. grandis*, tanto sobre a penetração como sobre a retenção. A penetração foi quantificada em porcentagem da área realmente penetrada por produto químico, demonstrando que o máximo de penetração na madeira de cerne foi de 7,78% da área coberta com preservativo, resultado obtido utilizando uma pressão de trabalho de 7 kg/cm² e um tempo de pressão de 12 horas.

Valle (2009) avaliou a penetração de CCA hidrossolúvel com 2% de I.A. em madeira de *E. urophylla* no processo de célula cheia com tempos de 30 minutos de vácuo inicial a 560 mmHg, pressão de 12 kgf/cm² por um período de 1,5 horas e um vácuo final na mesma condição do inicial por 15 minutos. Segundo o autor a revelação do cromoazurol-s para o teste de penetração, mostrou que todos os tratamentos apresentaram regularidade de penetração do produto por toda a extensão do alburno da madeira tratada.

Evangelista (2011) avaliou a penetração de produto químico CCA-C, em espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas pelo processo de célula cheia. A penetração do produto químico na madeira foi avaliada pela área tratada com o produto químico a partir da revelação do cobre pelo produto cromoazuril-S. Seus resultados demonstraram que a área tratada da espécie *C. citriodora* foi de 86,65%, área tratada da espécie *E. cloeziana* foi de 63,61%, área tratada de híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis* foi de 43,38%, e área tratada de 46,74% para híbrido de *E. urophylla*. Além da quantificação a penetração do CCA-C na

madeira dessas espécies foi classificada como profunda e regular, o que indica a penetração total do alburno. Ocorreram alguns defeitos na penetração ligados a presença de bolsas de quino e nós.

Ramos et al. (2006) avaliou a penetração do produto CCB (Borato de Cobre Cromatado) na madeira de *Prosopis juliflora* (Algaroba). Onde utilizou o cromoazurol-S como revelador de cobre na madeira preservada e o álcool polivinílico e iodo para revelar a presença de boro na madeira. Observou que o boro teve mobilidade maior que o cobre pela madeira, pois os resultados de penetração de boro foram mais profundos que o cobre. Utilizando um processo preservativo de troca de seiva com 2% de ingrediente ativo com 9 dias de tratamento, enquanto o boro penetrou 17,3 mm na base do mourão, 15,3 mm no centro do mourão e 12,8 mm no topo do mourão, o cobre penetrou 9,3 mm na base do mourão, 6,0 mm no centro do mourão, e 3,4 mm no topo do mourão. Essa penetração demonstra a irregularidade da penetração ao longo do mourão.

Campos et al. (2003) avaliou a penetração de CCA-A na madeira de *Brosimum rubescens* (Pau-rainha) pelo processo de célula cheia. A avaliação da penetração foi feita individualmente no cerne e no alburno da madeira e com relação a diferenciação no sentido base / topo do mourão. Essa avaliação demonstrou que o processo de célula cheia causou uma regularidade na penetração no sentido base topo do mourão. Embora tenha ocorrido uma grande variação quanto a diferenciação na penetração no cerne e no alburno, em que todas as avaliações consideraram o cerne com penetração Nula e o alburno com penetração Parcial Periférica.

3.3.3. Retenção de produto químico

De um modo geral a avaliação de um tratamento é feita em função de dois parâmetros básicos: a penetração e a retenção que pode ser apontada como a característica mais importante para a eficiência de um tratamento preservativo de madeira. Sendo que a retenção é definida como a quantidade de produto químico retido num determinado volume de madeira, expressa em kg/m³ (LEPAGE et al., 1986).

Após a penetração da solução na madeira, o produto químico passa por um processo de fixação até ter sua retenção na madeira. O CCA-C é um produto

hidrossolúvel, e sua retenção na madeira apresenta variações na fixação, atribuídas a diferentes quantidades de extrativos das espécies florestais (GUO et al., 2002).

Entretanto, é possível que outros fatores estejam ligados a variação da retenção de CCA-C na madeira, como a massa específica da madeira, pH e capacidade de tamponamento (capacidade da madeira em resistir as mudanças de acidez e alcalinidade provocadas pelo produto químico) (JANEZIC et al., 2000).

Ramos et al. (2006) utilizou o produto CCB (Borato de Cobre Cromatado) em mourões de *Prosopis juliflora* (Algaroba) e avaliou a retenção desse produto na madeira. O método utilizado foi o da substituição de seiva com concentrações de 1, 2 e 3% de ingrediente ativo e tempos de duração de 3, 6, 9, 12 e 15 dias. Nos resultados foi observado que as concentrações 1 e 3% atingiram a retenção abaixo de 6,5 kg/m³ em todos os tempos avaliados, e que as retenções acima de 6,5 kg/m³ só foram obtidas com a concentração de 2% de ingrediente ativo e tempo de preservação de 12 ou 15 dias. Contudo a retenção aceitável só ocorreu na base do mourão, o que demonstrando também uma variação considerável de retenção no sentido base / topo da peça. Aos 12 dias de tratamento a uma concentração de 2% os mourões apresentaram retenção de 7,7 kg/m³ na base, 4,95 kg/m³ no centro e 3,59 kg/m³ no topo.

Defavarim et al. (2007) avaliou a retenção de preservativo hidrossolúvel químico em madeira de cerne de *E. grandis* tratado pelo método de célula vazia com variações de 4 a 7 Kg/cm² de pressão por tempos de 6, 9 e 12 horas e chegou à conclusão de que o tempo de pressão não causou efeito no *E. grandis*, tanto sobre a penetração como sobre a retenção. Os dados desse autor indicam uma retenção máxima de 0,0314 g/cm³ de solução a 1%.

Silva (2008) testou a retenção de preservativos hidrossolúveis em madeiras de *Pinus elliottii* e *C. citriodora*. Para isso utilizou o processo de célula cheia na preservação em autoclave com 2 horas de pressão a 12 kgf/cm². Nesse processo variou a concentração do produto em 1, 2 e 4% de ingrediente ativo na solução de preservação. Com esses parâmetros encontrou resultados de retenção para o CCA-C na ordem de 5,4 kg/m³ para 1%, 11,3 kg/m³ para 2% e 23,0 kg/m³ para 4%. Com resultados de retenção considerados aceitáveis com concentração de produto acima de 2%, conforme norma ABNT-NBR 9480 (2009).

Valle (2009) utilizou o processo de célula cheia com pressão de 12 kg/cm² por um período de 1,5 horas uma solução a 2% de ingrediente ativo para tratar *E. urophylla*. O autor obteve valores de retenção média variando entre 8,22 kg/m³ e 8,98 kg/m³ nos diferentes tratamentos.

Evangelista (2011) utilizou espécies de *Eucalyptus* spp. em processo de preservação química de célula cheia. Demonstrando que a retenção de produto químico CCA-C com concentração de 2% de princípio ativo na solução não sofre variação com o tempo de pressão de tratamento para variações entre 1 e 2 horas. Com relação a espécie *E. urophylla* o autor obteve resultados de 7,82 kg/m³ com 60 minutos, 8,39 kg/m³ com 90 minutos e 8,95 kg/m³ com 120 minutos. Para *C. citriodora* obteve resultados de 6,84 kg/m³ com 60 minutos, 6,5 kg/m³ com 90 minutos e 6,62 kg/m³ com 120 minutos. Nesse caso a retenção variou de acordo com a espécie e não com o tempo.

3.4. Espécies de *Eucalyptus* spp. indicadas para preservação química

3.4.1. Plantio de *Eucalyptus* spp. no Brasil

Existem mais de 660 espécies de eucalipto conhecidas, sendo que as mais plantadas no mundo são *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. saligna* e *E. citriodora*. Salienta-se que até o ano 2000 as mais plantadas no Brasil eram *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla* (MORA e GARCIA, 2000).

Os plantios de *Eucalyptus* spp. crescem em torno de 6,8% em áreas plantadas por ano, chegando a 4.754.000 hectares plantados em 2010, sendo que os estados de Minas Gerais e São Paulo são os que mais se destacam. O maior índice de crescimento em área plantada está em Mato Grosso do Sul, com um crescimento de 27,4% entre os anos de 2009 e 2010. Do total de áreas plantadas no Brasil, 68% estão destinados a empresas de papel e celulose, 20,9% para siderurgia, 6,8% para painéis reconstituídos e 4,2% para produtores independentes e demais destinações da madeira. Com uma produção menos expressiva, são ausentes as estatísticas de produção de produtos como briquetes, pellets, palanques, pallets, postes e mourões (ABRAF, 2011).

Os clones começaram a aparecer no cenário brasileiro na década de 1980 quando a empresa Aracruz iniciou as pesquisas com propagação vegetativa de

Eucalyptus spp. e mesmo com a grande variedade de espécies, grande parte dos investimentos foram destinados na produção de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* (MORA e GARCIA, 2000). O processo de clonagem proporciona a redução da idade de exploração, aumento da produção, qualidade da madeira direcionada a finalidade de plantio, racionalização das operações e redução de custos de produção. Concomitantemente, o processo de hibridação de populações é altamente importante para a silvicultura clonal (FERREIRA et al., 2006).

Atualmente as espécies de *Eucalyptus* sp. mais plantadas são provenientes de melhoramentos genéticos provenientes de clones propagados. Tanto na região sudeste, como no resto do Brasil, os clones que mais se destacam no cenário silvicultural é o *E. urophylla* x *grandis*. Mais de 600.000 ha são cultivados com esse híbrido. O objetivo desse cruzamento é obter plantas com um bom crescimento, característica do *E. grandis*, com o aumento da massa específica e melhoria do rendimento e propriedades físicas, características do *E. urophylla*. Muito da utilização de espécies no futuro estará dependendo desse processo de melhoramento e escolha de novas espécies (BRAGA e MAÊDA, 2008).

Para cada tipo de uso da madeira existe um clone indicado, embora determinadas características de algumas espécies os tornem bastante flexíveis quanto a possibilidade de uso. O clone I-144, híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, é recomendado para produção de móveis, os clones de VM-01 e do H-13 que são respectivamente híbridos de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* e *E. urophylla* x *E. grandis* são indicados para florestas energéticas usadas para carvão ou celulose. Apesar da indicação específica, esses são clones cujas características físicas e químicas possibilitam o múltiplo uso da sua madeira. Dentre todas as espécies melhoradas os clones mais plantados por pequenos agricultores segundo o ramo de atividade que exercem são: (1) para celulose, *E. urophylla* x *E. grandis* H-13; *E. urophylla* x *E. grandis* H-77; *E. urophylla* x *E. grandis* C-219; *E. urophylla* x *E. grandis* C-041. (2) para carvão e tratamento, *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01; *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100. (3) para serraria, *E. urophylla* x *E. grandis* 1277; *E. urophylla* x *E. grandis* I-224; *E. urophylla* x *E. grandis* H-13 (LIMA, 2009).

Uma espécie muito utilizada por pequenos produtores e que não sofreu um melhoramento genético foi o *C. citriodora*. Ela apresenta na região do centro oeste paulista uma produtividade média de 28 m³/ha/ano aos 7 anos de idade, com um diâmetro a

altura do peito (DAP) médio de 11,5cm e altura total (HT) média de 14,8cm (LIMA e GORENSTEIN, 2007).

Galvão e Jankowski (1986) e Valle (2009) utilizaram o *E. urophylla* com 5 anos de idade em processos de preservação e encontraram resultados de durabilidade de até 17 anos nos seus experimentos, indicando assim essa espécie nessa condição de idade para a preservação. Torres et al. (2011) indica o uso do *E. camaldulensis* com 4 anos de idade para preservação.

3.4.2. Utilização do gênero *Eucalyptus* spp. na preservação química

Algumas espécies como *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., *Prosopis juiiflora* (Algaroba), *Brasimum rubescens* (Pau-rainha) tem possibilidade de ser utilizada para preservação química de madeira. Dentre elas destacam-se o *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus tereticornis*, *Corymbia citriodora*, *Corymbia maculata*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus cloeziana*. A maioria dessas madeiras destaca-se por apresentarem elevada resistência mecânica, resistência natural ao apodrecimento do cerne e poucas rachaduras (CAMPOS et al., 2003; RAMOS et al., 2006; BARILLARI, 2002; FARIA SOBRINHO et al., 2005).

Algumas entidades públicas apresentam listas contendo espécies aceitas para fins específicos, utilizando sempre o *Eucalyptus* spp como indicação. É o caso da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) que indicou árvores de eucaliptos com mais de doze anos de idade, das espécies *E. alba*, *E. botryoides*, *C. citriodora*, *E. grandis*, *E. paniculata*, *E. rostrata*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, para serem usados como postes de redes de eletrificação. (CPFL, 2010; DNER, 1994).

Para a escolha de espécie com potencial para preservação de madeira é necessário uma análise quanto as suas características, que segundo a norma vigente ABNT NBR 9480 (2009) devem seguir padrões de defeitos com limites para tortuosidades e rachaduras, avaliações de características físicas quanto a massa específica básica, características mecânicas ligadas a resistência a flexão e características de preservação referentes a permeabilidade da madeira e sua capacidade de reter o produto preservativo.

Uma das espécies mais utilizadas para preservação é o *C. citriodora*. Araujo et al. (2012), estudou o *C. citriodora* preservado em campo de apodrecimento na região amazônica, tendo avaliado peças tratadas com CCA-C e peças sem tratamento. A avaliação foi feita até os primeiros 5 anos da montagem do experimento. Foram quantificados os ataques de fungos e cupins em todas as peças trabalhadas e em todos os casos, a madeira do *C. citriodora* preservada apresentou 100% de sanidade, sendo que nenhuma das peças foi atacada por esses agentes xilófagos. As peças não preservadas tiveram ataques severos em todas as avaliações, sendo que após 3 anos e 11 meses, todas as peças apresentavam grau de degradação total ou ruído, reforçando assim a eficiência do tratamento preservativo nesta espécie.

Dentre as espécies já estudadas para preservação o *E. camaldulensis* apresentou resultados aceitáveis, tendo sido estudado em processo preservativo de substituição de seiva com utilização do produto hidrossolúvel CCB. Chegando a resultados médios de retenção de 10 kg/m³, valor observado aos 4 anos de idade (TORRES et al., 2011).

Galvão e Jankowsky (1986) estudaram a utilização da madeira de *E. urophylla* para preservação. A aplicação dessa madeira em campo de apodrecimento com diferentes tratamentos preservativos sem uso de pressão e diferentes produtos preservativos resultou em aceitação da madeira para preservação. Dentre eles as combinações mais eficientes foram de tratamento por transpiração radial por difusão simples utilizando os produtos Boliden K-33 (equivalente ao Osmose K-33 óxido), com duração estimada de 13 anos, e a combinação utilizando o produto, proveniente da mistura de 50% de Sulfato de cobre e 50% de Dicromato de potássio, aplicado pelo processo de difusão dupla, apresentando durabilidade esperada de 17 anos.

A espécie *E. urophylla* também foi estudada por Valle (2009) que demonstrou a aptidão dessa espécie para preservação na primeira e na segunda rotação do plantio. O estudo se baseou em dois materiais genéticos desta espécie, o clone AEC 0182 e o clone AEC 0296, provenientes de um plantio comercial na cidade de Itamarandiba – MG, com uma idade média de 5 anos, e massa específica básica de 460 a 490 kg/m³. Essa madeira apresentou retenção de CCA-C entre 8,22 e 8,98 kg/m³, sendo indicada para preservação e uso como mourões, a pesar da densidade que apresentou.

Valle (2009) indica o uso do híbrido de rápido crescimento, clone AEC 0182 e clone AEC 0296, para preservação a pesar da massa específica básica, entre 460 e 490 kg/m³ para *E. urophylla*, considerada baixa se comparada com o indicado pela norma ANBT-NBR 9480 (2009) que descreve um mínimo de 538 kg/m³ para que uma madeira seja utilizada como mourão. A utilização precoce de espécies de rápido crescimento estará sempre ligada a baixa massa específica básica, que tem tendência de aumento após os 8 ou 9 anos, dependendo da espécie (FERREIRA et al., 1979; ZANI FILHO, 1993; TURGUILHO et al., 1996; SANTANA, 2009).

Alguns autores demonstram que algumas características físicas, como a massa específica básica, podem ser alteradas nas espécies com a idade das árvores. Ferreira et al. (1979) estudou a relação de massa específica básica de três espécies de *Eucalyptus* sp. sob o aspecto da produtividade e idade, em plantios comerciais provenientes de semente na cidade de Mogi-Guaçu – SP. Nesse trabalho o autor conseguiu identificar um padrão de ganho de densidade em relação a idade para todas as espécies estudadas. Para a espécie *E. saligna* o valor médio de massa específica básica aos 3 anos de idade era de 499 kg/m³ e aos 8 anos já apresentava valor médio de 566 kg/m³, para o *E. grandis* o valor aos 3 anos era de 430 kg/m³, tendo chegado aos 518 kg/m³ aos 7 anos, para o *E. urophylla* em apenas um ano, dos 7 para os 8, houve um acréscimo de 516 para 534 kg/m³. Ferreira et al. (1979) conclui que houve uma tendência de aumento da massa específica com o aumento da idade.

A tendência de aumento de massa específica básica em *E. saligna* também foi estudada por Trugilho et al. (1996), sendo que o material colhido aos 1, 2, 3 e 4 anos de idade apresentaram diferença significativa com valores médios de massa específica básica, na ordem de 375, 436, 500 e 518 kg/m³ respectivamente. O autor observou crescimento da massa específica básica menos expressivo com o avançar da idade. Ribeiro e Zani Filho (1993) apresentam dados que reforçam a tendência de aumento de massa específica básica com relação a idade em espécies de *E. grandis* e *E. dunnii*. Com avaliações aos 5,3 anos e aos 8,3 anos, obtiveram valores crescentes com a idade de 524 a 566 kg/m³ para *E. dunnii*, demonstrando um aumento de 8,0% da massa específica básica em 3 anos. Com a idade os valores de massa específica básica tendem a aumentar, de 458 a 503 kg/m³, para *E. grandis*, demonstrando um aumento de 9,8% na massa específica básica em 3 anos.

Para o clone GG100, proveniente da hibridação de *E. urophylla* com *E. grandis*, implantado no município de Bom Sucesso – MG, com espaçamento de plantio de 3,00 x 2,80 metros, foi observado um aumento da massa específica básica entre as idades de 2,8 anos, 4 anos, 5 anos, 6,2 anos e 7,2 anos, nesse intervalo de tempo obteve-se resultado de massa específica básica de, respectivamente, 364, 432, 437, 449, 452 kg/m³. Demonstrando a possibilidade de aumento do valor da massa específica básica com o aumento da idade da floresta (SANTANA, 2009).

Quando uma espécie clonal é escolhida para ser trabalhada, o simples fato de dizer que uma espécie é proveniente da hibridação não é o suficiente para garantir que todos os clones gerados tenham a mesma herdabilidade de características. O desempenho varia de acordo com a genética, havendo diferenças de qualidade entre clones de mesma espécie e idade provenientes da mesma região (PONCE, 1995). Ferreira et al. (2006) demonstra em seu experimento que diferentes linhagens de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* possuem diferenças significativas em algumas características. Houve diferença significativa na massa específica básica dos híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* com variação entre 471 a 527 kg/m³. Demonstrando que diferentes clones provenientes de hibridação de uma mesma espécie (*E. urophylla* x *E. grandis*) necessitam de estudos separados para serem indicados a determinadas utilizações.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de plantio

As 9 espécies estudadas de *Eucalyptus* spp. foram coletadas na fazenda Jataí da empresa Grupo Mutum situada a 60 km de Ribas do Rio Pardo – MS, nas coordenadas 20°23'3,22"S 53°8'34,51"O. Esta localidade tem clima tropical (classificação de Köppen-Geiger: Aw), com médias de temperatura que variam entre 23° e 19° C, pluviosidade média durante o ano de 1300 mm. A fazenda apresentava baixa declividade, em terreno arenoso, solo homogêneo.

4.2. Espécies utilizadas

As espécies utilizadas apresentavam 4 anos de idade. Foram todas coletadas em uma mesma área, em talhões vizinhos de uma população clonal. Toda a implantação e condução foram semelhantes para todas as espécies, com espaçamento 3x3 metros entre plantas e mesmos tratamentos silviculturais.

A escolha das espécies foi baseada nas suas características intrínsecas, tais como: propriedades anatômicas, físicas, químicas, permeabilidade e características dendrométricas do povoamento e na disponibilidade delas no mercado. Assim as espécies escolhidas para estudo podem ser subdivididas em dois grupos: (1) importantes materiais genéticos de três empresas florestais (Gerdau, Acelormital e V&M Florestal), que produzem material com intenso melhoramento genético para obtenção de cultivares com alta densidade, propriedade essa altamente relacionada com a longevidade de mourões em campo (Stape et al, 2012); e (2) materiais menos expressivos em área de plantio, embora muito expressivos em características que os tornam viáveis a preservação da madeira. Foram considerados para esse estudo: Grupo (1) I-144, I-224, VM-01 e GG-100, e grupo (2) I-220, I-042, VM-19 e VM-58 (STAPE et al., 2012; LIMA, 2009)

O material utilizado no estudo pode ser melhor verificado na Tabela 3.

Tabela 3. Espécies e/ou híbridos de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudo.

Espécie	Nome comercial	Procedência	Material	DAP (cm)	HT (m)	IMA (m ³)
1	-	-	<i>Corymbia citriodora</i>	13,6	15,05	32
2	I 144	Acesita	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i>	15,0	18,05	43
3	GG 100	Gerdau	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i>	15,2	18,44	43
4	I 224	Acesita	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i>	15,8	17,66	44
5	I 042	Acesita	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i>	14,4	18,56	43
6	VM 19	Votorantim Metais	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i>	15,4	18,62	44
7	I 220	Acesita	<i>Eucalyptus urophylla</i>	16,0	19,82	42
8	VM 58	Votorantim Metais	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	17,0	16,10	42
9	VM 01	V&M Florestal	<i>E. urophylla</i> + <i>E. camaldulensis</i>	15,6	17,57	43

Todas as espécies trabalhadas já foram estudadas para preservação, embora algumas delas passaram por outros processos que não o método de célula cheia que será utilizado neste trabalho. Dessa forma, entende-se que sejam favoráveis ao processo industrial.

4.3. Coleta e preparo do material

Foram abatidas 5 árvores de cada espécie, com DAP médio na população. Foram retirados até sete mourões por árvore, com 1,5 metros de comprimento e com diâmetros entre 10 e 16 cm e 1 disco na altura do DAP (diâmetro a altura do peito) para avaliação da massa específica básica da espécie. Foram selecionados 15 mourões por espécie. Todos os mourões de madeira roliça foram devidamente identificados, numerados, descascados, empilhados em tabiques e secos ao ar até atingirem umidade de equilíbrio. Os discos foram utilizados para determinação da massa específica básica das espécies estudadas. A Figura 4 permite maiores esclarecimentos sobre a obtenção dos mourões utilizados no estudo.



Figura 4. Coleta e traçamento dos mourões de eucaliptos usados no estudo: A – Derrubada e traçamento das árvores e corte das peças e discos; B – Discos de 9 espécies utilizadas para avaliação da massa específica básica; C – Empilhamento dos mourões durante a secagem ao ar livre; D – Plaqueta de identificação das peças.

A identificação e numeração foram feitas com plaqueta pregada no topo de cada mourão, contendo um código que permitia indicar exatamente de qual árvore e de qual altura da árvore o mourão foi retirado. Imediatamente após a derrubada, os mourões foram descascados, em seguida carregados até um pátio de secagem onde foram empilhados em tabique visando unificar a secagem ao longo da peça. Como forma de acompanhamento da

umidade corrente até a secagem, foi utilizado um medidor elétrico resistivo tipo agulha. Esse acompanhamento foi feito até o momento da preservação.

4.4. Avaliação da massa específica básica, da porcentagem de alburno e das rachaduras nos mourões de *Eucalyptus* spp.

A avaliação da massa específica básica foi feita utilizando uma cunha que representava 1/4 do disco retirado da região do DAP. Foram retirados amostras de 5 árvores por espécie, sendo retirada 1 cunha por árvore amostrada.

Para a avaliação da porcentagem de alburno foram utilizadas 15 discos por espécie, sendo esses discos retirados dos mourões utilizados na preservação nos tratamentos 1, 2 e 3. Foram mensurados em cada disco duas medidas referentes ao diâmetro total da peça e duas medidas referentes ao diâmetro do cerne dos discos. Com essas medidas foi possível calcular a área de cerne e área de alburno na madeira, sendo que as relações percentuais entre a quantidade de alburno e a quantidade de cerne definem a % de alburno.

As amostras preservadas foram analisadas quanto as rachaduras e as fendas que os mourões apresentarem durante o período de secagem. Sendo que o conceito de rachaduras e fendas está explicado abaixo.

De acordo com ABNT - NBR 9480 (2009, p.3-4).

“Fenda – Separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras longitudinais da madeira nitidamente visível em uma face, podendo se estender de um lado a outro da peça roliça, e nesse caso denominada fenda diametral. Racha ou rachadura – Separação dos tecidos lenhosos ao longo das fibras, geralmente entre dois anéis de crescimento.”

Com base na normativa NBR 9480 (2009), a Figura 5 demonstra o que são as rachaduras de topo ou base, fendas de topo ou base e fendas de corpo no mourão.

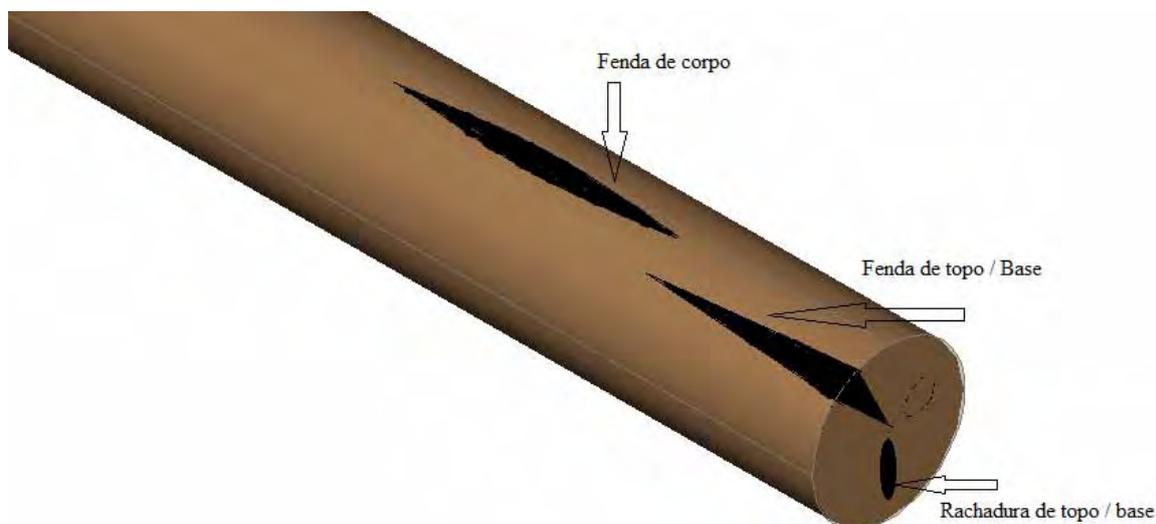


Figura 5. Rachadura de topo e base, fenda de topo e base e fenda de corpo segundo norma ABNT – NBR 9480 (2009).

Ao final do tratamento foram medidas as rachaduras e fendas existentes nos mourões de um lote completo, contendo 5 peças por espécie. Foram medidas os diâmetros dos mourões, as rachaduras de topo, da base, as aberturas e comprimentos das fendas no topo, na base e no corpo das peças. O índice de rachaduras e de fendas utilizado foi conforme a norma ABNT-NBR 9480 (2009) e todos os defeitos acima dos mínimos estipulados pela norma foram utilizados para classificar o mourão como admissível ou não para a sua preservação.

No caso de rachadura, foram mensuradas as aberturas que apresentavam no menor sentido transversal ao comprimento. Qualquer valor que ultrapasse 5% do valor do diâmetro da madeira é considerado inadmissível, conforme mostra a equação (1).

$$\Delta r = \frac{r \times 100}{D - r} \quad (1)$$

Sendo:

Δr = Porcentagem de rachadura (%)

r = Rachadura da secção (cm)

D = Diâmetro da secção (cm)

Para a fenda do topo ou base, foram mensuradas as aberturas no sentido transversal ao comprimento ao longo da linha perimetral do diâmetro do mourão e foram mensuradas o comprimento da fenda ao longo do corpo do mourão. Nesse caso, para fendas de topo são admissíveis aberturas de no máximo 5 mm e comprimento de 20 cm. Para a fenda de base são admissíveis aberturas de no máximo 5 mm e comprimento de 30 cm.

Nas fendas de corpo foram mensuradas a abertura no sentido transversal ao comprimento do mourão e o comprimento da fenda no sentido longitudinal do comprimento do mourão. Para o corpo do mourão são admissíveis fendas com aberturas de no máximo 5 mm e comprimento de 50 cm.

4.5. Método de preservação industrial dos mourões de *Eucalyptus* spp.

Cada mourão foi seco até atingir umidade de equilíbrio com o ambiente, com a finalidade de diminuir pontos de variação entre as espécies. Após a secagem foram montados os lotes que seriam preservados e deu início ao processo de tratamento por célula cheia, utilizando o produto químico Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C).

No momento de carregar a autoclave, cada peça foi cuidadosamente cubada, foram coletados o diâmetro do topo e da base, diâmetro do cerne aparente e o comprimento de cada mourão, foi quantificada a massa de cada mourão em balança digital e o valor da umidade de cada mourão foi determinado conforme mostra a Figura 06. Após a preservação a pesagem foi repetida em todas as toras para quantificar a massa de solução absorvida por cada uma delas.

A autoclave utilizada, com 3 metros de comprimento e 0,8 metros de diâmetro, pertence ao Laboratório de Secagem e Preservação da Madeira, situado no departamento de Ciências Florestais, FCA – UNESP – Botucatu – SP. Foram montadas duas pilhas dentro da autoclave com peças de 1,5 metros de comprimento como mostra na Figura 6.



Figura 6. Abastecimento da autoclave para realização do processo de preservação: A – Medição da umidade da madeira antes da entrada na autoclave; B – Mourões dispostos dentro da autoclave, prontos para início do ciclo de preservação.

Para a preservação desses mourões foi utilizado o método de célula cheia. Neste método utiliza-se variações de tempo de vácuo e pressão para impregnar o mourão de madeira com o produto preservativo. Para cada carga de mourões foi feito o seguinte procedimento: (1) Vácuo inicial de pelo menos 560 mmHg, por 30 minutos; (2) Carregamento da autoclave com a solução preservativa sem aliviar o vácuo; (3) Aplicação da pressão de tratamento, de 12kg/cm², por tempos variados, nas diferentes cargas de preservação; (4) Retirada a pressão e retorno da solução; e (5) Aplicação de um vácuo final apenas durante o tempo necessário para que a madeira saia da autoclave com a superfície enxuta, nesse ciclo padronizado em 15 minutos.

Nesse trabalho o processo utilizado em todos os tratamentos foi o mesmo com relação aos períodos de vácuo e houve uma variação do tempo de preservação, buscando a resposta de permeabilidade pelo tempo que cada espécie necessita. Primeiramente, foram realizados três ciclos de preservação (cargas), contendo todas as nove espécies estudadas. Essas três cargas tiveram, respectivamente, duração de 2 horas, 1 hora e 30 minutos. Essas escolhas dos tempos foram sugeridas por Evangelista (2011) e pelo padrão comercialmente vigente.

Todos os tratamentos apresentaram mesma concentração de solução, 2% de ingrediente ativo, mensurada com utilização de termodensímetro no momento da preservação.

4.6. Avaliação da penetração do produto preservativo nos mourões de *Eucalyptus* spp.

Para a avaliação da penetração e análise da relação de regularidade da penetração, utilizou-se a técnica de revelação por aplicação do cromoazuroI-S, um líquido revelador da presença do cromo na madeira. Esse revelador foi pincelado na superfície da secção do disco cortado da tora. A região do disco que reage com o revelador e obtém uma coloração azulada, indica a presença do cromo e a região que adquire coloração avermelhada indica a ausência desse elemento químico. Esses discos com aproximadamente 5cm de espessura foram retirados do meio do comprimento dos mourões. No momento da retirada, cada disco estava com teor de umidade abaixo de 25%. Dessa forma conseguimos observar e classificar a penetração do preservativo quanto a sua distribuição espacial no lenho conforme a classificação da penetração em: Nula, ausência total de coloração azulada; Vascular, presença de pontuações azuladas geralmente coincidindo com os vasos; Parcial Irregular, Parcial Periférica; e Penetração Total onde toda a parte tratável da madeira está azulada, como ilustrado na Figura 7.

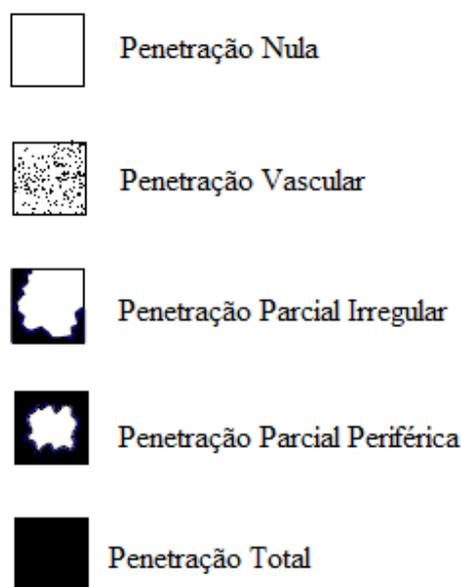


Figura 7. Classificação dos níveis de penetração do produto preservativo nas peças de madeira tratadas por intermédio de um produto químico revelador, segundo Campos et al. (2003).

O nível de penetração foi avaliado apenas ao longo do alburno, sabendo que o cerne certamente não apresentaria coloração azulada por sua característica de não permeabilidade do preservativo.

4.7. Avaliação da retenção do produto preservativo nos mourões de *Eucalyptus* spp.

A análise da concentração do cobre, do cromo e do arsênio, obtidas para esse experimento foram baseadas na norma americana AWWA A9-01 (2008), método que orienta a utilização do equipamento de espectroscopia de raio-x para realizar a leitura da quantidade de ingrediente ativo existente na madeira.

O preparo do material até a moagem segue a seguinte seqüência: pré-secagem dos mourões de madeira, retiradas das baguetas para amostragem, cálculo de massa específica das baguetas, moagem e classificação granulométrica abaixo de 30 mesh. A madeira moída foi colocada diretamente no equipamento de leitura por espectroscopia de raio-x.

A pré-secagem foi feita no mourão e tem a função de garantir que a madeira tenha um período de fixação do preservativo nas estruturas celulares da madeira, e tenha teor de umidade abaixo de 25%, para que no momento de retirada das baguetas a umidade não aqueça o mourão causando uma volatilização dos elementos químicos que serão analisados.

Após a secagem foram retiradas 5 baguetas por mourão, para isso foi utilizada uma broca especialmente desenvolvida para retirar um cilindro de diâmetro padronizado e comprimento que deve ser igual a profundidade do alburno do mourão. As baguetas foram retiradas da porção central do mourão amostrada, como ilustrado na Figura 8. A retirada das amostras na porção central representa uma distância de 70 centímetros das extremidades do mourão, característica que em campo representa a região de afloramento com o solo e, portanto, a região de maior suscetibilidade ao apodrecimento.

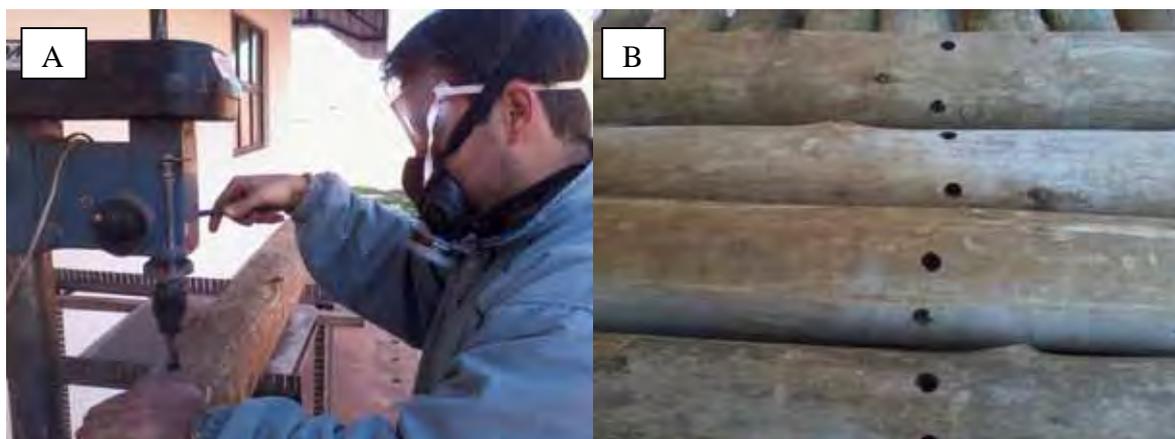


Figura 8. Retirada das baguetas amostrais para análise de retenção dos mourões: A – indica a perfuração da broca; B – indica as peças já perfuradas na porção central dos mourões.

As baguetas retiradas foram submetidas a procedimentos de ajuste das arestas com o auxílio de um formão, para que tenham uma forma padronizada que se assemelhe ao máximo com um cilindro perfeito. Nesse processo também foram retirados qualquer vestígio de cerne. As baguetas foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até atingirem peso constante. Com o auxílio de um paquímetro foram medidos o diâmetro e o comprimento de cada cilindro. Com o auxílio de uma balança analítica foi determinada a massa seca dessa amostra em escala de gramas. O volume da bagueta foi calculado com base no diâmetro e comprimento das mesmas, conforme a equação (2). Com o volume e a massa das baguetas foi calculado a densidade a 0% de umidade. Esse teste foi repetido nas 5 baguetas retiradas de cada peça fornecendo assim um valor médio representativo da peça que está sendo amostrada. A Figura 9 permite esclarecimentos das etapas descritas.

$$V = \frac{\pi \times d^2 \times c}{4} \quad (2)$$

Sendo:

V = Volume da bagueta (cm^3);

d = Diâmetro da bagueta (cm);

c = Comprimento da bagueta (cm).



Figura 9. Preparo das baguetas para secagem e posteriormente para cálculo da massa específica seca do alburno de cada mourão: A – Material utilizado para ajuste; B – Ajuste das arestas sendo realizado com auxílio de formão; C e D – Amostras prontas para a secagem em estufa.

Após a determinação da densidade a 0% de umidade do alburno de cada mourão foi realizada a moagem em moinho do tipo facas para a obtenção de serragem com granulometria abaixo de 30 mesh. Esse material moído foi armazenado individualmente, em saco plástico, bem identificado. A Figura 10 permite visualização dessa etapa.



Figura 10. Processo de moagem do material para análise química: A – moinho de moagem; B – Amostras moídas a fração 30 mesh (esquerda) e amostras antes de serem moídas (direita).

A madeira moída foi enviada a empresa Montana Química S/A , sediada em São Paulo – SP, onde foi realizada a leitura em espectroscopia de raio-X em um equipamento da marca Shimadzu EDX-720. Os resultados obtidos nessa leitura foram expressos em porcentagem e depois transformados em kg/m^3 através da equação (3). A retenção de ingrediente ativo por elemento foram formados com a multiplicação da leitura do raio-X pela densidade média a 0% de umidade do mourão e o resultado dividido por 100. A leitura no equipamento expressa um valor individual para cada elemento químico a ser analisado (cobre, cromo e arsênio) e a formação do valor de ingrediente ativo (I.A.) é a somatória dos elementos individuais.

$$R = \frac{I \times \delta}{100} \quad (3)$$

Sendo:

R = Retenção de cada elemento (kg/m^3);

I = leitura do espectrofotômetro de raio-x (%);

δ = Densidade a 0% (kg/m^3).

4.8. Análise estatística

O experimento teve uma organização delimitada em blocos ao acaso considerando dois fatores de avaliação, espécie e tratamento.

As avaliações de retenção de produto químico foi considerada como a característica mais importante da preservação. Assim foi empregado aos seus resultados o teste de normalidade de dados Kolmogorov-Smirnov. A análise de variância Two Way foi utilizada para avaliar a variância entre os valores dos fatores. Foram analisados a espécie, o tratamento e a interação entre os dois. Para avaliação das médias foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização física dos mourões de diversas espécies de *Eucalyptus* spp.

Segundo a norma ABNT – NBR 9480 (2009), cada mourão a ser comercializada deve passar por um rigoroso controle de qualidade. Assim, as 9 espécies de *Eucalyptus* spp. estudadas foram submetidas a várias análises para que fosse verificada a qualidade dos mourões tratados.

A aprovação de um mourão ocorre quando a peça satisfaz todos os oito requisitos relativos aos defeitos ligados as rachaduras e fendas (Rachadura de topo, rachadura de base, abertura de fenda de topo, comprimento de fenda de topo, abertura de fenda de base, comprimento de fenda de base, abertura de fenda de corpo e comprimento de fenda de base). Salienta-se que um único requisito falho pode não classificar um mourão conforme os padrões estabelecidos pela norma ABNT – NBR 9480 (2009).

A tabela 4 demonstra além do requisito total que define se o mourão está admissível. Os requisitos individuais em cada espécie que demonstram quais defeitos estão ligados a não aceitação da espécie.

Na quantidade de mourões classificados como aptos, que considera todos os defeitos, nenhum dos mourões foi aprovado. Analisando as variáveis individualmente, descritas na Tabela 4, percebe-se que quanto as rachaduras de topo, o índice foi plenamente satisfatório para todas as espécies, sendo 100% dos mourões foram classificados como admissíveis em 8 das espécies com exceção do *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 que apresentou 80% do número de mourões com índice de rachadura aprovados. O comprimento da rachadura foi a maior fonte de desaprovação entre as espécies, principalmente no topo, onde apenas o *C. citriodora* apresentou cerca de 25% dos mourões aprovados. As aberturas de corpo obtiveram ótimos resultados na maioria das espécies, tendo 100% de aprovação no *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01, *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 e *E. urophylla* x *E. grandis* I-042. Na média, verifica-se que a espécie *C. citriodora*, não obteve resultados melhores que as demais espécies.

Tabela 4. Classificação dos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp. em função do comprimento e abertura das rachaduras e fendas, segundo norma técnica da ABNT-NBR 9480 (2009).

Espécie	Nº Total de Peças % de mourões classificados como aptos		% de mourões defeituosos no topo			% de mourões defeituosos na base			% de mourões defeituosos no corpo	
			Rachaduras (%)	Abertura de fenda (%)	Comprimento de fenda (%)	Rachaduras (%)	Abertura de fenda (%)	Comprimento de fenda (%)	Abertura de fenda (%)	Comprimento de fenda (%)
<i>C. citriodora</i>	4	0	100	25	25	100	25	50	50	100
I-144 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	5	0	80	60	0	100	60	20	100	80
GG100 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	5	0	100	20	0	100	20	0	100	60
I-224 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	5	0	100	20	0	100	20	0	100	40
I-042 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	5	0	100	40	0	100	40	0	100	100
VM-19 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	5	0	100	80	0	100	60	0	100	60
I-220 (<i>E. urophylla</i>)	5	0	100	0	0	100	0	0	60	40
VM-58 (<i>E. camadulensis</i>)	5	0	100	40	0	100	60	20	80	40
VM-01 (<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i>)	5	0	100	60	0	100	80	0	100	40

Sendo % = percentagem de mourões classificadas como admissíveis pela norma.

As rachaduras e fendas do topo dos mourões das 9 espécies de *Eucalyptus* spp. estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Rachaduras e fendas no topo de mourões das 9 espécies de *Eucalytus* spp.

Espécie	N	Rachadura		Abertura de fenda		Comprimento de fenda	
		C.V. (%)	média (mm)	C.V. (%)	média (mm)	C.V. (%)	média (cm)
<i>C. citriodora</i>	5	42	3,3 a	36	15,0 ac	48	86,7 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	102	5,9 a	52	12,6 bc	53	119,2 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	71	2,0 a	17	15,0 ac	34	125,7 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	74	3,9 a	31	15,1 ac	31	184,2 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	116	2,1 a	47	13,1 bc	53	125,6 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	68	3,6 a	33	9,3 bc	76	155,3 a
<i>E. urophylla</i> I-220	5	81	1,9 a	31	25,9 a	32	143,3 a
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	168	1,2 a	48	14,6 ac	62	136,1 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	68	3,7 a	34	10,7 bc	25	186,7 a

Sendo: letras diferentes – diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância; letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que a espécie *C. citriodora* apresentou rachadura médias de topo de 3,3 mm e abertura média de fenda de 15,0 mm, resultados esses que não a destacam em qualidade frente aos demais. O *C. citriodora* só se destacou na média do comprimento de fendas com média de 86,7 cm, consideravelmente abaixo da segunda melhor espécie, o *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 que apresentou resultado de 119,2 cm. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 apresentou a maior média no quesito rachadura de topo dentre as 9 espécies avaliadas, com valor de 5,9 mm. Nas rachaduras de topo o menor valor médio observado foi para a espécie *E. camaldulensis* VM-58 com rachadura de topo de 1,2 mm. Quanto ao resultado de abertura de fendas o menor resultado foi da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 com média de 9,3 mm, e o maior resultado de 15,1 mm da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-224.

As fendas e rachaduras da base dos mourões são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Rachaduras e fendas na base de mourões das 9 espécies de *Eucalytus* spp.

Espécie	N	Rachadura		Abertura de fenda		Comprimento de fenda	
		C.V. (%)	média (mm)	C.V. (%)	média (mm)	C.V. (%)	média (cm)
<i>C. citriodora</i>	5	44	3,2 a	39	15,3 ac	54	66,1 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	90	1,8 a	41	9,7 bc	59	106,4 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	74	2,7 a	26	10,8 bc	20	124,2 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	81	2,4 a	55	14,5 ac	59	135,6 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	79	1,3 a	45	12,7 ac	44	104,4 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	102	2,7 a	42	9,7 bc	47	171,0 a
<i>E. urophylla</i> I-220	5	115	4,2 a	35	24,3 a	18	124,0 a
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	37	4,3 a	61	10,0 bc	64	117,8 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	59	3,2 a	40	10,8 bc	63	181,8 a

Sendo: letras diferentes – diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância; letras iguais – diferença não significativa.

A avaliação de defeitos na base dos mourões seguiu a mesma tendência do topo com relação ao *C. citriodora* que apresentou valores médios de rachaduras de base 3,2 mm, média de abertura de fenda 15,3 mm e se destacando apenas com a baixa média de comprimento de fenda 66,1 cm. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* 042 apresentou a menor média de rachadura de base 1,3 mm, a maior média desse quesito foi para a espécie *E. camaldulensis* VM-58 com resultado de 4,3 mm. A colocação de menor resultado de abertura de fendas na base foi para as espécies *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 e para a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, ambas com 9,7 mm. O maior resultado de abertura de fenda na base foi para a espécie *E. urophylla* I-220 com 24,3 mm, consideravelmente acima de qualquer outra média desse quesito. As fendas de corpo de mourão estão apresentadas na Tabela 7.

Verifica-se na Tabela 7 que a espécie *C. citriodora* se destacou na avaliação de defeitos no corpo do mourão por apresentar maior valor médio de abertura de fendas com 13,5 mm. A espécie que apresentou menor valor de abertura de fenda no corpo foi *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01 com média de média de 2,6 mm. O menor resultado de defeitos em comprimento de fendas no corpo do mourão foi da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 com 59,4 cm, consideravelmente abaixo do maior resultado de médias da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 com 140,8 cm.

Tabela 7. Fendas no corpo de mourões das 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	N	Abertura de fenda		Comprimento de fenda	
		C.V. (%)	média (mm)	C.V. (%)	média (cm)
<i>C. citriodora</i>	5	36	13,5 a	22	132,7 ac
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	10	6,8 bc	31	140,8 ac
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	37	8,8 ac	33	128,5 ac
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	107	2,7 bc	113	75,6 ac
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	96	4,2 bc	79	59,4 bc
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	45	4,1 bc	54	118,0 ac
<i>E. urophylla</i> I-220	5	12	11,7 ac	10	185,0 a
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	81	4,5 bc	78	105,4 ac
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	70	2,6 bc	68	66,2 bc

Sendo: letras diferentes – diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância; letras iguais – diferença não significativa.

Embora o comprimento da fenda de topo do *C. citriodora* tenha sido na média 86,7 cm (Tabela 5), menor do que as demais espécies, significativamente não houve diferença entre todos os materiais estudados. O mesmo comportamento foi encontrado entre o comprimento da fenda da base do mourão de *C. citriodora* e o de outras espécies de *Eucalyptus* spp. Isso pode ser explicado pelo alto coeficiente de variação encontrado para essa propriedade em todas as espécies estudadas. Como, comercialmente, os mourões são classificados em função dos diâmetros e estes podem ser retirados de várias alturas no fuste, verificando-se que para atingir o padrão comercial os comprimentos da fenda de topo e base e as rachaduras de topo e base não variam entre as espécies estudadas.

Contudo, esse tipo de análise de rachaduras não é comum entre as avaliações de materiais para preservação, apesar de ser um teste indicado pela norma. A observação geral desses resultados não apontou uma espécie que se destacasse em qualidade, pois os piores e os melhores resultados quanto às características de fendas e rachaduras estiveram presentes em todas as espécies estudadas.

A massa específica básica da madeira das espécies de *Eucalyptus* spp. e a massa específica a 0% de umidade do alburno das respectivas madeiras estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Massa específica da madeira das 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	N	Massa específica a 0%		Massa específica básica	
		C.V. (%)	média (kg/m ³)	C.V. (%)	média (kg/m ³)
<i>C. citriodora</i>	5	10	620 a	10	564 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	5	454 c	2	413 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	5	471 b	2	426 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	4	419 bc	4	376 cd
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	4	480 bc	3	439 bd
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	2	519 bc	3	451 b
<i>E. urophylla</i> I-220	5	5	536 b	11	450 b
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	3	455 c	3	388 c
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	10	529 b	3	447 b

Sendo: letras diferentes – diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância; letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que a espécie *C. citriodora* apresentou massa específica de 620 kg/m³ à 0% de umidade e massa específica básica de 564 kg/m³, significativamente maior de qualquer outra espécie avaliada. A espécie que mais se aproximou do *C. citriodora* no resultado de massa específica básica foi a *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 com valor médio de 451 kg/m³. Os menores resultados de massa específica foram da espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 com massa específica de 419 kg/m³ à 0% de umidade e massa específica básica de 376 kg/m³.

A massa específica básica da espécie *C. citriodora* apresentou-se em torno de 564 kg/m³, este valor está acima do mínimo estabelecido pela norma ABNT – NBR 9480, (2009). As demais espécies apresentaram valores inferiores ao preconizado pela norma técnica.

A Tabela 8 demonstra que a espécie *C. citriodora* tem a massa específica básica estatisticamente superior as das as outras espécies. A demonstração de baixa massa específica básica das espécies de clones avaliadas seria o suficiente para que todas as espécies fossem descartadas da utilização como mourões de madeira preservados. Embora esta população amostrada apresentasse 4 anos de idade e alguns autores concordam que as espécies de *Eucalyptus* spp., quando com maior idade, tendem a criar mais massa, aumentando assim o valor de sua massa específica básica.

Constatou-se que a espécie *E. urophylla* I-220, com massa específica básica 450 kg/m³, irá apresentar maior massa específica básica quando com maior idade. Observando que segundo Ribeiro e Zani filho (1993) a espécie *E. urophylla* pode chegar a uma massa específica básica de 559 kg/m³ aos 6,7 anos de idade. E baseado em Ferreira et. al. (1979), que demonstrou um acréscimo de 3,5% na massa específica básica para o *E. urophylla* entre as idades de 7 a 8 anos.

Os híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* estudados (I-144, I-224, I-042 e VM-19) apresentam maior massa específica básica com maior idade, segundo Ferreira, et. al. (2006) o híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* apresenta variações de 471 a 527 kg/m³ conforme se varia a idade. No caso exclusivo do *E. urophylla* x *E. grandis* GG100, Santana (2009) demonstra que o material aos 7,2 anos de idade ainda apresentava 452 kg/m³, embora tenha crescido dos 364 aos 452 kg/m³ dos 2,8 aos 7,2 anos.

Contudo a literatura demonstra a possibilidade de que mesmo com baixa massa específica básica o material estudado apresente boa resistência mecânica. Segundo Calonego (2009) o *E. grandis* aos 5,9 anos, têm resistência a flexão estática de 69MPa e apresenta uma massa específica básica média de 418 kg/m³. Segundo Gonçalves et al. (2009), espécies dos híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* apresentam características de massa específica básica entre 414 e 451 kg/m³ e resistência a flexão estática de 82 MPa. Os resultados desses autores são semelhantes as espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 e *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, que apresentam massa específica básica entre 413 e 451 kg/m³. Assim verifica-se uma tendência de resistência a flexão dessas espécies serem maior que o mínimo de 55 MPa a 12 % de umidade, estabelecido pela norma ABNT-NBR 9480 (2009).

A relação entre a massa específica e a resistência a flexão é demonstrada por Evangelista (2007) na espécie *E. camaldulensis*, que apresentou aos 10 anos de idade massa específica básica de 520 kg/m³ e resistência a flexão estática de 79MPa e por Cruz et al. (2003) na mesma espécie aos 5,5 anos de idade, massa específica básica entre 467 e 501 kg/m³ e resistência a flexão estática de 97 MPa. Com a variação demonstrada para a espécie pode-se concluir que a espécie *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (VM-01) com seus 447 kg/m³ de massa específica básica pode apresentar resistência a flexão suficiente para ser utilizada como mourão tratado.

O clone de *E. urophylla* (I-220) apresentou massa específica básica de 450 kg/m³, mesmo assim pode apresentar resistência a flexão estática que classifique essa espécie para ser usada como mourão. Cruz et al. (2003) demonstra que o *E. urophylla* aos 5,5 anos, apresenta massa específica básica de 486 kg/m³ e resistência a flexão estática de 108 MPa e aos 10,5 anos massa específica de 437 kg/m³ e resistência a flexão de 97 MPa. E segundo Evangelista (2007) que avaliou o *E. urophylla* da empresa Votorantim Metais Zinco S.A. com idade de 6 anos que apresentava massa específica básica de 450 kg/m³ e o resultado da resistência a flexão estática foi 76 MPa, e avaliou essa mesma espécie com a idade de 8 anos e observou massa específica básica de 540 kg/m³ e resistência a flexão estática correspondente 97 MPa.

A espécie *C. citriodora* apresentou massa específica básica de 564 kg/m³, acima do mínimo estabelecido pela norma ABNT-NBR 9480 (2009). Essa espécie apresenta característica de resistência a flexão estática de 107 MPa, em postes de madeira preservada amostrados a 12% de umidade (PELIZAN, 2004).

Contudo, outra característica da madeira importante para a preservação é a porcentagem do alburno existente na espécie utilizada, pois é a porção tratável da madeira. Quanto maior a porcentagem de alburno maior porcentagem do mourão estará sob a influência do preservativo químico. Assim, a Tabela 9 demonstra o percentual de alburno presente em cada espécie de *Eucalyptus* spp. estudada.

Tabela 9. Porcentagem média de área de alburno em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas industrialmente com preservativo químico CCA-C.

Espécie	N	C. V.	% de alburno
<i>C. citriodora</i>	15	9,7	90,9 ab
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	15	18,3	83,7 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	15	10,1	87,2 ab
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	15	22,1	68,4 c
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	15	16,9	83,4 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	15	16,2	83,2 b
<i>E. urophylla</i> I-220	15	20,5	45,8 d
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	15	5,4	98,3 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	15	13,8	86,7 ab

Sendo % de alburno = quantidade de alburno que a espécie apresenta em relação ao total de área da secção do disco.

Verifica-se na Tabela 9 que a espécie *E. urophylla* (I-220), com pouco mais de 45% de alburno, é consideravelmente a espécie que mais apresenta cerne entre sua formação de lenho. Logo após, a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* (I-224) apresenta cerca de 68% de alburno, e nas demais espécies encontram-se acima dos 80%, sendo que a espécie de maior percentual de alburno é a *E. camaldulensis* (VM-58) com 98,3%, acima do *C. citriodora* que apresenta 90,8% de alburno.

5.2. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento industrial de mourões de diversas espécies de *Eucalyptus* spp. sobre a penetração do produto preservativo na madeira.

As características mais importantes para um produto preservado é a sua resistência aos ataques de agentes xilófagos, essa resistência se dá baseado na quantidade de produto químico que penetrou na madeira e a forma com que ele se distribuiu ao longo do mourão. A forma de classificação do produto químico ao longo do mourão é avaliada pelos processos de coloração a partir de líquido revelador, onde é possível qualificar a penetração do produto ao longo da peça tratada.

A Figura 11 demonstra as possíveis variações de penetração que foram encontradas durante a avaliação dos mourões tratados por esse estudo.

Seguindo a metodologia de avaliação de Campos et al. (2003) foi observado que os mourões apresentavam penetração entre Penetração Total e Penetração Parcial Periférica. Além dessa classificação foi possível observar alguns defeitos de preservação como gomose. A penetração total confere máxima resistência a agentes xilófagos por toda a extensão do alburno da madeira, é apresentada pela coloração azulada toda região que foi revelada a presença do preservativo químico, e se manteve na coloração avermelhada apenas a região da madeira que não apresenta o produto químico. A falta de penetração do CCA-C no cerne já era esperada (DEFAVARIN et al., 2007; VALLE, 2009; CAMPOS et al., 2003).

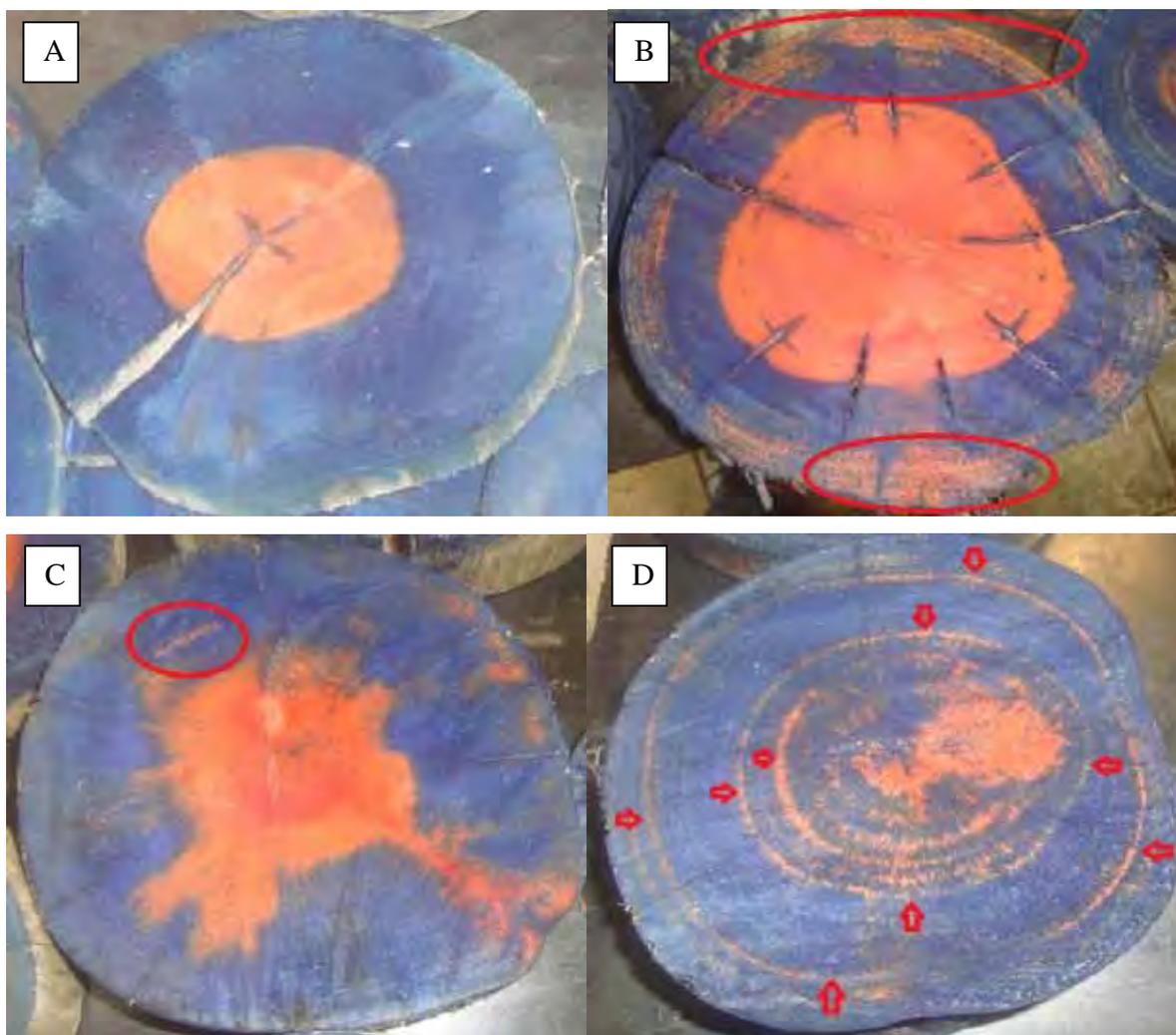


Figura 11. Classificação da penetração em mourões de *Eucalyptus* spp. preservados industrialmente com CCA-C: A – demonstra a penetração total do alburno; B – demonstram manchas sem preservação ocorridas ao longo do alburno; C – demonstra no detalhe um defeito causado por gomose; D – apresenta na indicação das setas anéis sem preservação ao longo da peça, característica considerada penetração parcial periférica.

A descrição qualitativa da penetração do produto químico e a absorção de solução preservativa em cada espécie de *Eucalyptus* spp. tratada encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10. Descrição qualitativa de penetração e da absorção média de solução preservativa presentes em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas com CCA-C em processo industrial com autoclave.

Espécie	Tratamento	Absorção média (kg/m ³)	% de mourões em penetração
<i>C. citriodora</i>	30 minutos	377	60% PI e 40% T
	1 hora	418	100% T
	2 horas	497	100% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	30 minutos	440	20% PP e 80% T
	1 hora	557	100% T
	2 horas	539	100% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	30 minutos	329	100% PI
	1 hora	492	40% PI e 60% T
	2 horas	527	v40% PI e 60% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	30 minutos	316	40% PP e 60% T
	1 hora	561	100% T
	2 horas	491	20% PP e 80% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	30 minutos	376	40% PI; 40% PP e 20% T
	1 hora	516	20% PP e 80% T
	2 horas	334	20% PI; 20% PP e 60% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	30 minutos	451	60% PI e 40% PP
	1 hora	471	60% PP e 40% T
	2 horas	514	20% PI; 40% PP e 40% T
<i>E. urophylla</i> I-220	30 minutos	223	40% PI e 60% T
	1 hora	233	100% T
	2 horas	282	20% PP e 80% T
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	30 minutos	729	40% PI e 60% T
	1 hora	628	100% T
	2 horas	627	100% T
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	30 minutos	525	60% PI e 40% PP
	1 hora	510	100% T
	2 horas	512	60% PP e 40% T

Sendo: T = Penetração total do alburno; PP = Penetração parcial periférica do alburno; PI = Penetração parcial irregular do alburno; PV = Penetração Vascular do alburno; e PN = Penetração nula do alburno.

Verifica-se na Tabela 10 que a espécie *C. citriodora* apresentou penetração parcial irregular no alburno com 30 minutos de pressão e penetração total nos tempos de 1 e 2 horas. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 apresentou penetração parcial periférica no tempo de 30 minutos e penetração total nos tempos de 1 e 2 horas. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 apresentou penetração parcial irregular nos tempos de 30 minutos, 1 hora e 2 horas de preservação. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-224

apresentou penetração parcial periférica nos tempos de 30 minutos e 2 horas e penetração total no tempo de 1 hora. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 apresentou penetração parcial irregular com 30 minutos de pressão e penetração parcial periférica nos tempos de 1 e 2 horas. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 apresentou penetração parcial irregular com 30 minutos de pressão e penetração parcial periférica nos tempos de 1 e 2 horas. A espécie *E. urophylla* I-220 apresentou penetração parcial irregular no tempo de 30 minutos, penetração total no tempo de 1 hora e penetração parcial periférica no tempo de 2 horas. A espécie *E. camaldulensis* VM-58 apresentou penetração parcial irregular no tempo de 30 minutos e penetração total nos tempos de 1 e 2 horas. E a espécie *E. urophylla* x *E. camaldulensis* apresentou penetração parcial irregular no tempo de 30 minutos, penetração total no tempo de 1 hora e penetração parcial periférica no tempo de 2 horas.

A avaliação qualitativa da penetração na Tabela 10 demonstrou que em todos os mourões de todos os tratamentos, o produto químico alcançou toda extensão do alburno embora essa penetração profunda não tenha sido regular em todos os mourões. O cerne de todas as espécies, quando presente, se manteve sem preservativo. A avaliação qualitativa da penetração demonstrou que não houve uma perfeição de penetração em nenhuma das espécies estudadas, sendo que todas as espécies obtiveram algum problema de penetração em pelo menos um tratamento.

Defeitos na penetração de produto químico na madeira foram observados por outros autores. Segundo Evangelista (2011), a pesar da utilização de tempo de preservação com 2 horas e solução com 2% de princípio ativo e uma retenção de 7,13 kg/m³ a madeira de *E. urophylla* apresentou penetração profunda e irregular e foi considerada suficiente para assegurar o uso da peça em contato com o solo. Assim como toda preservação feita por Campos et. al. (2003) em *B. rubensces* ter apresentado penetração parcial periférica no alburno e mesmo assim a espécie ser considerada apta para preservação. Baseado nesse conceito, é possível avaliar toda penetração parcial periférica do alburno como sendo aceitável em tratamento de mourão, considerando que os anéis expostos sejam apenas regiões de densificação. Com essa afirmação passa a ser considerada apta para tratamento do ponto de vista de penetração as madeiras avaliadas como penetração total e penetração parcial periférica.

Com esse conceito de aptidão dos defeitos, as espécies passam a ser divididas em três grupos do ponto de vista de penetração. O primeiro grupo com as espécies que poderiam ser preservadas com 30 minutos de pressão, são: *E. urophylla* x *E. grandis* (I-144) e *E. urophylla* x *E. grandis* (I-224). O segundo grupo com espécies que poderiam ser preservadas com 1 hora de pressão, são: *C. citriodora*, *E. urophylla* x *E. grandis* (I-042), *E. urophylla* x *E. grandis* (VM-19), *E. urophylla* (I-220), *E. camaldulensis* (VM-58) e *E. urophylla* x *E. amaldulensis* (VM-01). O terceiro grupo com espécies que não atingiram penetração suficiente nem mesmo com 2 horas de pressão, consiste na espécie *E. urophylla* x *E. grandis* (GG-100).

Essas irregularidades na penetração podem ser associadas à densificação da madeira em algumas regiões do mourão, podendo ocorrer devido à formação de cerne e lenho tardio (LEPAGE et al., 1986; JANEZZIC et al., 2000). Os defeitos de anéis sem preservação podem estar ligados diretamente a densificação do lenho tardio e a não penetração do cerne pode estar ligada diretamente com a densificação no processo de cernificação.

As manchas sem preservação não apresentam relação direta com a densificação da madeira, pois avaliando a massa específica do alburno a 0% de umidade na Tabela 8, em comparação com os resultados de penetração na Tabela 10, observamos que a massa específica do alburno a 0% do *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 e do *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 são estatisticamente semelhantes e foram respectivamente 471 e 419 kg/m³. Apesar dessa semelhança entre as massas específicas a 0%, o *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 apresentou penetração parcial e irregular nos tempos de preservação 30 minutos, 1 hora e 2 horas, enquanto que a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 apresentou penetração parcial periférica nos tempos de 30 minutos e 2 horas e penetração total no tempo de 1 hora. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 apresentou penetração consideravelmente pior do que a espécie de maior massa específica do alburno a 0% de umidade (*C. citriodora*), que com 620 kg/m³ apresentou penetração total na madeira com 1 e 2 horas de pressão.

5.3. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento industrial de mourões de diversas espécies de *Eucalyptus* spp. sobre a retenção do produto preservativo na madeira.

Para resultados quantitativos da retenção foram avaliados o I.A. (Ingrediente Ativo) e a proporção de cada um dos três ingredientes do CCA-C: (1) CrO₃; (2) CuO; e (3) As₂O₅. As médias de retenção de Ingrediente Ativo (I.A.) nos três tempos de pressão aplicados no processo de preservação, assim como o teste de comparação de médias dos resultados podem ser verificadas na Tabela 11.

Tabela 11. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente Ativo (I.A.) do CCA-C nos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	N	Tempo a pressão de 12kgf/cm ²					
		0,5 h de pressão		1 h de pressão		2 h de pressão	
		C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³) Tukey	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³) Tukey	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³) Tukey
<i>C. citriodora</i>	5	13	6,7 bcd A	4	7,4 d A	12	7,9 de A
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	5	6,3 bcd A	5	9,8 ab B	4	9,7 bcd B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	13	5,2 d A	20	7,9 bcd B	13	8,6 ce B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	16	6,5 bcd A	6	10,5 a B	4	10,0 ac B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	8	6,7 bcd A	12	9,3 ac B	17	8,4 ce B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	11	8,2 ab A	15	10,0 a B	7	11,7 a C
<i>E. urophylla</i> I-220	5	19	6,3 cd A	10	7,3 d AB	18	8,0 de B
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	13	9,0 a A	10	10,6 a B	5	10,8 ab B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	6	7,4 abc A	12	9,9 a B	5	10,0 ac B

Sendo: N – número de repetições; C.V. – coeficiente de variação; Letras minúsculas – teste de Tukey entre as repetições da espécie; Letras maiúsculas – teste de comparação de médias por Tukey entre tempos de pressão; Letras diferentes – diferença estatística a 5% de significância; Letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que algumas espécies em 0,5 horas de pressão apresentam valores abaixo do mínimo estabelecido pela norma ABNT – NBR – 9480 (2009), com destaque aos resultados de *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 com retenção de 6,3 kg/m³, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 com retenção de 5,2 kg/m³ e *E. urophylla* I-220 com retenção

de 6,3 kg/m³. Todos resultados proveniente do tratamento com 30 minutos e pressão. Estatisticamente não houve diferença entre os tratamentos com 1 e 2 horas de pressão nas espécies *C. citriodora*, *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042, *E. urophylla* I-220, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01. Apenas a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 apresentou tendência de aumento significativo de retenção de CCA-C entre os tempos de 1 e 2 horas de pressão.

Constata-se que após 1 hora de pressão a retenção do produto químico fica significativamente semelhante para a madeira da maioria das espécies, dentre elas: *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042, *E. urophylla* I-220, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01. A retenção média do produto preservativo CCA-C na madeira de *C. citriodora* foi estatisticamente igual após o tratamento preservativo com 30 minutos, 1 hora e 2 horas de pressão, conforme mostra a Tabela 11. Já, a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19 apresentou diferença estatística entre os três tempos de pressão. A madeira desta espécie apresentou a maior média de retenção entre todas as espécies no tratamento com 2 horas de pressão (11,7 kg/m³).

Para a espécie de *C. citriodora* resultados semelhantes foram encontrados por a Evangelista (2011) que concluiu que a madeira teve retenção de 6,9, 6,3 e 6,3 kg/m³ respectivamente com os tempos de 1 hora, 1,5 horas e 2 horas. Contudo, resultados consideravelmente abaixo daqueles encontrados no presente estudo, foram mostrados por Silva (2008) que trabalhando com *C. citriodora* em condições semelhantes de processo e tempo de pressão de 2 horas obteve valor médio de 11,3 kg/m³. Essa diferença do resultado de Silva (2008) se dá pela escolha metodológica, pois esse autor preservou quimicamente corpos de prova com dimensões de 45 x 2 x 5 cm.

A espécie *E. urophylla* I-220 apresentou retenção 7,3 kg/m³ com 1 hora de pressão e 8,9 kg/m³ com 2 horas de pressão. Resultados semelhantes aos apresentados por Evangelista (2011), onde a mesma espécie apresentou retenção 7,3, 7,6 e 7,8 kg/m³ respectivamente nos tempos de pressão de 1, 1,5 e 2 horas. Semelhantes também a *E. urophylla* estudada por Valle (2009), o qual encontrou retenção média de 8,8 kg/m³ com 1,5 horas de pressão.

As comparações entre os resultados de algumas espécies demonstram que os processos preservativos deste experimento apresentaram resultados coerentes com o esperado. Contudo, verifica-se que existe interferência da espécie na retenção de produto químico pela madeira de *Eucalyptus* spp., e que as causas dessa variação podem ser explicadas pela diferença de permeabilidade das madeiras estudadas. A permeabilidade é dependente de características anatômicas como o diâmetro e as freqüências de vasos, causando variações de retenções do produto na madeira entre as diferentes espécies (LEPAGE et al., 1986). As diferentes características químicas das espécies também podem explicar a variação de retenção entre elas. Segundo Janezic et al. (2000) o pH e a capacidade de tamponamento da madeira podem alterar as reações químicas que ocorrem na retenção do preservativo na madeira. Guo et al. (2002) concorda que diferentes espécies podem alterar a retenção de produto químico na madeira e completa mostrando que a variação de retenção de produto químico na madeira está atribuída a diferentes quantidades de extrativos das espécies. Além da retenção média de I.A., devem ser consideradas as retenções dos três elementos constituintes do CCA-C, nas suas proporções exatas, para que possa considerar a preservação de um mourão com qualidade. A demonstração dos resultados de retenção do ingrediente CrO_3 está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente CrO_3 do CCA-C nos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	Tempo a pressão de 12kgf/cm ²						
	N	0,5 h de pressão		1 h de pressão		2 h de pressão	
		C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)
<i>C. citriodora</i>	5	14	3,3 bf A	5	3,5 ef A	9	3,7 efg A
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	4	3,2 bg A	5	4,6 ab B	5	4,7 ad B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	10	2,6 cdefg A	17	3,8 bcde B	12	4,2 bcde B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	13	3,3 be A	7	5,1 a B	5	5,0 ab B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	6	3,3 bd A	11	4,4 ad B	14	4,2 bcdf B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	11	4,2 a A	12	4,7 a A	6	5,4 a B
<i>E. urophylla</i> I-220	5	14	3,3 bc A	9	3,7 df AB	15	4,1 cdg B
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	13	4,4 a A	10	5,1 a B	4	5,3 a B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	6	3,6 ab A	12	4,6 ac B	5	4,8 ac B

Sendo: N – número de repetições; C.V. – coeficiente de variação; Letras minúsculas – teste de Tukey entre as retenções da espécie; Letras maiúsculas – teste de comparação de médias por Tukey entre tempos de pressão; Letras diferentes – diferença estatística a 5% de significância; Letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que a espécie *C. citriodora* apresentou uma retenção do CrO_3 de 3,3, 3,5 e 3,7 kg/m^3 , respectivamente após o tratamento preservativo com 30 minutos, 1 hora e 2 horas de pressão. A absorção de CrO_3 foi limitada na espécie *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 apresentou um resultado de retenção do CrO_3 de 2,6 kg/m^3 com 30 minutos de tempo e pressão. Todas as demais espécies em diferentes tempos apresentaram resultados acima do que era esperado pela norma ABNT – NBR – 9480 (2009).

Já, os resultados da retenção do ingrediente CuO estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente CuO do CCA-C nos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	N	Tempo a pressão de 12kgf/cm ²					
		0,5 h de pressão		1 h de pressão		2 h de pressão	
		C.V. (%)	Retenção Média (kg/m^3)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m^3)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m^3)
<i>C. citriodora</i>	5	8	1,3 bcd A	5	1,5 e AB	14	1,5 ef B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	4	1,3 bcd A	5	1,9 ab B	4	1,9 ade B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	15	1,1 d A	15	1,6 bcde B	9	1,7 bce B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	15	1,3 bcd A	6	2,0 a B	4	1,9 adc B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	13	1,4 ad A	12	1,9 ad B	15	1,7 bce B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	7	1,6 ab A	10	2,0 a B	6	2,2 a B
<i>E. urophylla</i> I-220	5	22	1,2 cd A	10	1,5 e B	16	1,6 cdf B
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	12	1,6 a A	9	2,0 a B	6	2,0 ab B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	5	1,5 ac A	13	1,9 ac B	6	1,9 ac B

Sendo: N – número de repetições; C.V. – coeficiente de variação; Letras minúsculas – teste de Tukey entre as retenções da espécie; Letras maiúsculas – teste de comparação de médias por Tukey entre tempos de pressão; Letras diferentes – diferença estatística a 5% de significância; Letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que a espécie *C. citriodora* apresentou uma retenção do CuO variando entre 1,3, 1,5 e 1,5 kg/m^3 , respectivamente após o tratamento preservativo com 30 minutos, 1 hora e 2 horas de pressão. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 apresentou um resultado de retenção do CuO de 1,1 kg/m^3 com 30 minutos de pressão, valor considerado abaixo do mínimo estabelecido pela norma ABNT – NBR – 9480 (2009).

Os resultados da retenção do ingrediente As_2O_5 estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Efeito do tempo de pressão aplicado no tratamento preservativo industrial sobre a retenção do Ingrediente As_2O_5 do CCA-C nos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp.

Espécie	N	Tempo a pressão de 12kgf/cm ²					
		0,5 h de pressão		1 h de pressão		2 h de pressão	
		C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)	C.V. (%)	Retenção Média (kg/m ³)
<i>C. citriodora</i>	5	16	2,2 bc A	3	2,4 df A	17	2,7 cdef A
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-144	5	9	1,9 bf A	5	3,2 ac B	4	3,1 be B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> GG-100	5	19	1,5 cdefg A	28	2,5 bcde B	18	2,7 bf B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-224	5	22	2,0 be A	5	3,6 a B	4	3,1 bd B
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> I-042	5	8	2,0 bd A	16	3,1 ad B	24	2,5 cdef AB
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> VM-19	5	17	2,6 ab A	23	3,3 ab B	8	4,2 a C
<i>E. urophylla</i> I-220	5	26	1,7 bg A	13	2,1 ef AB	25	2,3 e B
<i>E. camaldulensis</i> VM-58	5	16	3,0 a A	10	3,5 a A	6	3,5 ab A
<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i> VM-01	5	9	2,4 ab A	12	3,4 a B	6	3,3 bc B

Sendo: N – número de repetições; C.V. – coeficiente de variação; Letras minúsculas – teste de Tukey entre as retenções da espécie; Letras maiúsculas – teste de comparação de médias por Tukey entre tempos de pressão; Letras diferentes – diferença estatística a 5% de significância; Letras iguais – diferença não significativa.

Verifica-se que a espécie *C. citriodora* apresentou uma retenção do As_2O_5 variando entre 2,2, 2,4 e 2,7 kg/m³, respectivamente após o tratamento preservativo com 30 minutos, 1 hora e 2 horas de pressão. As espécies *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 e *E. urophylla* I-220 apresentaram valores respectivos de 1,9, 1,5, 2,0, 2,0 e 1,7 kg/m³ no resultado de penetração com tempo de 30 minutos de pressão, todos abaixo do mínimo estabelecido pela norma ABNT – NBR – 9480 (2009), com destaque aos resultados da espécie *E. urophylla* I-220 pois o mínimo estabelecido pela norma ainda não havia sido obtido com 1 hora de pressão, chegando a apenas 2,1 kg/m³.

A melhor fixação e eficiência do CCA ocorre na composição CCA-“C” na qual o balanceamento da solução se estabelece em 47,5% de CrO_3 , 18,5% de CuO , e 34% de As_2O_5 (LEPAGE et. al., 1986; WILLIAMS et. al., 1991). Assim, para uma retenção

mínima de 6,5 kg/m³ espera-se que tenha uma retenção mínima de 3,1 kg/m³ de CrO₃, 1,2 kg/m³ de CuO, e 2,2kg/m³ de As₂O₅. Existe um efeito da espécie na fixação dos ingredientes CrO₃, CuO e As₂O₅ na madeira, sendo que a retenção de uma mesma solução preservativa pode sofrerem variações de balanceamento em diferentes espécies.

Os mínimos estabelecidos que um mourão preservado deve apresentar de cada um dos ingredientes químicos (CrO₃, CuO e As₂O₅), foram mostrados pelas Tabelas 12, 13 e 14. Constatou-se que as espécies *C. citriodora*, *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01 não apresentam nenhuma restrição quanto a retenção do CCA-C nos tempos de pressão de 30 minutos, 1 hora e 2 horas. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-144 apresenta restrição a preservação com CCA-C com tempo de 30 minutos de pressão por apresentar 1,9 kg/m³ de retenção de As₂O₅. *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 e *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 apresentam restrição a preservação com 30 minutos de pressão por apresentarem, ambas, retenção de As₂O₅ 2,0 kg/m³. A espécie *E. urophylla* I-220 tem a necessidade de ser preservada com 2 horas de pressão, por apresentar restrições aos tratamentos com 30 minutos e 1 hora de pressão por apresentar respectivamente 1,7 e 2,1 kg/m³ de retenção de As₂O₅. Verifica-se, portanto, na Tabela 14 que o As₂O₅ foi o maior responsável pela restrição de tempos de preservação entre as espécies avaliadas. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100 foi a única que apresentou seu enquadramento de tempo de pressão limitado por três ingredientes simultaneamente CrO₃ 2,6 kg/m³, CuO 1,1 kg/m³ e As₂O₅ 1,5 kg/m³.

A necessidade da observação dos ingredientes individuais fica evidente quando relacionamos os resultados apresentados por algumas espécies de *Eucalyptus* spp. na Tabela 11 com os resultados da Tabela 14. Verificou-se na Tabela 11 que a espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-224 apresentava retenção de I.A. 6,5 kg/m³ com 30 minutos de pressão, embora a avaliação da Tabela 14 demonstre que essa mesma espécie apresentava retenção de As₂O₅ 2,0 kg/m³, classificando-a com deficiência na retenção de As₂O₅. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 apresentava retenção de I.A. 6,7 kg/m³ com 30 minutos de pressão, embora a avaliação do ingrediente As₂O₅ tenha revelado apenas 2,0 kg/m³ com 30 minutos. A espécie *E. urophylla* I-220 apresentava uma retenção de I.A. 7,3 kg/m³ quando preservada por 1 hora de pressão, nessas condições essa espécie apresentou retenção de 2,1 kg/m³ do ingrediente As₂O₅.

A baixa quantidade de ingrediente As_2O_5 pode ser altamente prejudicial a durabilidade do mourão. Segundo Willians et al. (1991) esse ingrediente é o principal agente inseticida do CCA, tendo também alguma ação fungicida. A falta do As_2O_5 na madeira pode causar um apodrecimento precoce do mourão.

Essa variação do balanceamento dos ingredientes químicos entre as espécies pode ser explicada pela velocidade com que cada elemento se desloca individualmente pela madeira. Segundo Ramos et al. (2006) o elemento boro tem mobilidade diferente daquela apresentada pelo elemento cobre em madeira de *Prosopis juliflora* (Algaroba). Embora essa explicação trate de outro composto preservativo (CCB) é possível que o mesmo comportamento ocorra com o CCA-C.

Concomitantemente, possíveis variações químicas e anatômicas das diferentes espécies de *Eucalyptus* spp. podem influenciar as reações químicas e a retenção dos ingredientes na madeira durante o seu tratamento (JANEZIC et al., 2000 e GUO et al., 2002).

Constatou-se com os resultados uma tendência de retenção característica ligada a empresa que seleciona o material genético do clone. Vemos que os clones selecionados por umas empresas que selecionaram o material das espécies *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01, obtiveram característica de alta permeabilidade apresentando retenção mínima de I.A. necessária com tempo de 30 minutos de pressão. E os clones selecionados geneticamente por outras espécies se mostraram mais resistentes a retenção do CCA-C, *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 necessitando de 1 hora para apresentar retenção mínima de I.A. e *E. urophylla* I-220 necessitando de 2 horas para retenção mínima de I.A.

6. CONCLUSÃO

Os estudos desenvolvidos, para avaliar o potencial de 9 espécies do gênero *Eucalyptus* spp. em substituição ao *C. citriodora*, em tratamento preservativo industrial, mostraram que algumas espécies estudadas possuem características favoráveis para a produção de mourões preservados sob pressão.

No estudo relativo à caracterização física dos mourões de várias espécies de *Eucalyptus* spp. concluiu-se que:

- As espécies *C. citriodora*, *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042, *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, *E. urophylla* I-220, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01 apresentaram resultados de rachaduras e fendas que as desclassificam para o uso como mourão preservado.

- O *C. citriodora* apresentou massa específica básica que o classifica para uso como mourão, as espécies *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* GG-100, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042, *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, *E. urophylla* I-220, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01 apresentaram resultados abaixo do mínimo estabelecido da norma ABNT-NBR 9480 (2009). Contudo todas as espécies têm potencial para atingir a resistência a flexão mínima preconizada pela norma técnica.

No estudo referente a penetração e retenção de CCA-C nos mourões estudados conclui-se que:

- O tempo de preservação influencia diferentemente as espécies de *Eucalyptus* spp. quanto a retenção de produto químico preservativo na madeira.

- O aumento do tempo de pressão aumenta a retenção de produto químico preservativo CCA-C em mourão de *Eucalyptus* spp.

- Considerando as variáveis de penetração e retenção de produto químico na madeira, é contra-indicado o uso de 30 minutos de pressão para preservação de *Eucalyptus* spp.

- As espécies *C. citriodora*, *E. urophylla* x *E. grandis* I-144, *E. urophylla* x *E. grandis* I-224, *E. urophylla* x *E. grandis* I-042 *E. urophylla* x *E. grandis* VM-19, *E. camaldulensis* VM-58 e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* VM-01 devem ser utilizadas em processo preservativo de célula cheia com tempo de pressão de no mínimo 1 hora.

- A espécie *E. urophylla* I-220 deve ser utilizada em processo de preservativo de célula cheia com tempo de pressão de no mínimo 2 horas.

7. REFERÊNCIAS

ABEU, L. D.; MARINO, R. H.; MESQUITA, J. B.; RIBEIRO, G. T. Degradação da madeira de *Eucalyptus* spp. por basidiomicetos de podridão branca. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 4, p. 321-328, out./dez. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 2017: standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 324-328, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**: annual book: standard test method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. West Conshohocken, v. 410, p. 119-121, 1994.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard for waterborne preservative: p. 5-6. In: **2006 AWPA book of standard**. Birmingham, 2006. p. 111-116.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard Method for Analysis of Treated Wood and Treating Solutions by X-Ray Spectroscopy. In: **2008 AWPA book of standard**. Birmingham, 2008. 4p.

ARALDI, D. B. MELO, R. R. CUNHA, T. A. STANGERLIN, D. M. MULLER, M. T. Influência de tratamentos preservativos na resistência ao choque da madeira de *Eucalyptus tereticornis* Smith. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais XI EBRAMEM**, Londrina, 2008.

ARAÚJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. HILL & L. A. S. Johnson) tratada com cca em ambiente amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, p. 49-58, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Preservação de madeira**. Artigo Técnico, n. 17, abr. 2004. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-790**: penetração e retenção de preservativo em postes de madeira: método brasileiro. São Paulo, 1973. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9480**: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais: requisitos. São Paulo, 2009. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PLANTADORES DE FLORESTAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF, 2011, 130 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PLANTADORES DE FLORESTAS. **Anuário**

Estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010. Brasília, DF, 2011, 130 p.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservante:** avaliação em campo de apodrecimento. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, com Opção em Tecnologia de Produtos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

BATALLA, A.S. **Preservacion de la madeira.** Barcelona: Imprensa Hispano-Americana, 1961. 486 p.

BORROR, D. J.; DE'LONG, D. M. **Introdução ao estudo dos insetos.** São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

BRAGA, J. L. P.; MAÊDA, J. M. **Estabilidade fenotípica de clones de *Eucalyptus urograndis*, na Fazenda Bom Jardim – Aparecida-SP.** 2008. 16 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

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

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorretificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ES Maiden.** 2009. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CAMPOS, C. S.; 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, 2003.

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

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Postes de eucalipto preservado. Padrão Técnico, 2010. 7 p. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=AoZrmk3YNFA%3D&tabid=309&mid=1085>>. Acesso em 14 jun. 2010.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONZALEZ, J. C.; SOUZA, F. D. M. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 07-14, 2005.

CRUZ, H. **Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira.** II Curso Livre Internacional de Patrimônio, Associação Portuguesa dos Municípios com Centro Histórico;

Fórum UNESCO Portugal, Santarém, Fevereiro/Março 2001, 9 p. Disponível em: <<http://mestradoreabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/HCruzpatol%20aval%20e%20conserv%20madeiras%20SANTAREM.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variação dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, dez. 2003.

DEFAVARI, F. R.; MIZUTA, D.; JANKOWSKY, I. P. Permeabilidade do Cerne de *Eucalyptus grandis* na impregnação com hidrossolúveis em autoclave. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 15., 2007, Piracicaba. **Resumo...** Piracicaba: USP, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-EM 033/94: mourões de eucalipto preservado para cercas, norma rodoviária, especificação de material. Brasília, DF, 1994. p. 01-04.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. E *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril.** 2007. 120 f. Dissertação (*Magister Scientiae*)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto.** 2011. 126 f. Tese (*Doctor Scientiae*)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D.; LOBO, L. M.; SOUZA, M. O. A. 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. 01-19, nov. 2010.

FARIA SOBRINHO, D. W.; PAES, J. B.; FURTADO, D. A. Tratamento preservativo da madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 225-236, jul./set. 2005.

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Mogi-Guaçú (SP). **IPEF**, Piracicaba, n. 18, p. 106-117, jun. 1979.

FERREIRA, C. R. et. al. Avaliação tecnológica de clones de eucaliptos: Parte 1 – Qualidade da madeira para produção de celulose kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKI, I. P. Durabilidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. BLAKE preservada por processo sem pressão: avaliação de ensaio de campo. **IPEF**, Piracicaba, n. 33, p. 59-64, ago. 1986.

- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; SANTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, p. 501-509, 2009.
- GUO, A.; COOPER, P. A.; UNG, Y. T.; RUDDICK, J. N. R. Comparison of fixation rates of earlywood, latewood, sapwood, and heartwood of CCA-treated douglas-fir, southern pine, and eastern larch. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52, p. 77-80, 2002.
- JANEZIC, T. S.; COOPER, P. A.; UNG, Y. T. Chromated cooper arsenate preservative treatment of north american hardwoods. **Holzforschung**, Wien, v. 54, p. 77-80, 2000.
- JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de preservação de madeira**. Piracicaba: LCF-ESALQ/USP, 1990. Documento Florestal.
- KATO, S.; TAKEDA, E. R. **Estudo da toxidez do pentaclorofenato de sódio e do sulfato de cobre em relação ao *Gloeophyllum trabeum* (Per. Ex. Fr) Murr.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1970. v. 895, p. 67-84.
- LEPAGE, E. S. et. al. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986.
- LIMA, C. L. M. Clones de eucalito desenvolvidos para MS são apresentados na SHOWTEC 2009. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/noticia.php?id=73644>>. Acesso em: 10 mar. 2011.
- LIMA, F. C. C.; GORENSTEIN, M. R. Inventário de um povoamento de *Eucalyptus citriodora* (HOOK) no município de Fernão, região Centro-Oeste- SP. In: SIMPÓSIO DE CIENCIAS APLICADAS DA FAEF, 10., Garça. **Anais...** Garça, 2007. v. 2, p. 235-240.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 113 p.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. **Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para construção civil**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1998. 52 p. Boletim Técnico.
- OLIVEIRA, J. T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005.
- OLIVEIRA, J. T. S. et.al. **Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para construção civil: 1 - avaliação dendrométrica das árvores**. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corýmbia maculata* (Hook.) K.D.Hull 7 L. A. S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 761-767, 2002.

PELIZAN, T. R. **Estudo de propriedades mecânicas de peças roliças de eucalipto citriodora utilizando a técnica de ultra-som**. 2004. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1995. 9 p.

RAMOS, I. E. C.; PAES, J. B.; FARIA SOBRINHO, W.; SANTOS, G. J. C. Eficiência do CCB na resistência da madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D. C.) em ensaio de apodrecimento acelerado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 811-820, 2006.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies / procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, jan./dez. 1993.

RODRIGUÊS, R. B.; BRITO, E. O. Resistência natural de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* À *Coptotermes gestroi* (Isoptera; Rhinotermitidae) em laboratório. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, n. 18, p. 9-15, 2011.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucaliptus urophylla* com enfoque energético**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SILVA, G. A. **A lixiviação do cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativo hidrossolúvel, segundo procedimento da NBR 10005:2004**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental)-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, p. 7-13, ago./dez. 2004.

SILVA, J. C.; LOPEZ, A. G. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupins de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 583-587, 2004.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estética da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 795-799, 2005.

STAPE. PROJETO TECH, **Relatório Anual 2011**, 2012.

TORRES, P. M. A.; PAES, J. B.; LIRA FILHO, J. A.; NASCIMENTO, J. W. B. Tratamento preservativo da madeira juvenil de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh. pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 275-282, abr./jun. 2011.

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

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

WEHR, J. P. P. **Método prático de tratamento preservativo de moirões roliços de *Pinus caribea* Morelet Var. hondurensis Bar et Golf**. 1985. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

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

ZENI, T. L.; SILVA, F. B.; FERREIRA, M. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; AUER, C. G. Resistência natural das espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus myrcocoris*, *Eucalyptus umbra*, *Corymbia citriodora* e *Corymbia maculata* à degradação provocada pelo fungo *Agrocybe perfecta*, causador da podridão branca na madeira, *in vitro*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Carlos: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2006. 1 CD-ROM.

APÊNDICE 1

ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA VARIÁVEIS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA,
RETENÇÃO DE INGREDIENTE ATIVO, RETENÇÃO DE CrO₃, CuO e As₂O₅ DE
MOURÕES DE 9 ESPÉCIES DE *Eucalyptus* spp. PRESERVADA QUIMICAMENTE POR
PROCESSO INDUSTRIAL.

Tabela 1-1: Análise de variância On-Way para variável de massa específica básica em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	116656,69	14582,08	21,285	<0,001
Resíduo	36	24663,158	685,088		
Total	40	141319,85			
Coeficiente de Variação (%)		4,35			

Tabela 1-2: Análise de variância On-Way para variável de massa específica a 0% em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	144556,46	18069,55	17,489	<0,001
Resíduo	36	37195,299	1033,203		
Total	40	181751,764			
Coeficiente de Variação (%)		5,24			

Tabela 1-3: Análise de variância Two-Way para variável de massa específica a 0% de umidade e variável tempo de tratamento preservativo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas por processo industrial.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Especie	8	0,516	0,0645	49,711	<0,001
Tratamento	2	0,00716	0,00358	2,758	0,068
Especie x Tratamento	16	0,0136	0,000848	0,653	0,833
Residual	107	0,139	0,0013		
Total	133	0,676	0,00508		
Coeficiente de Variação (%)		14,0			

Tabela 1-4: Análise de variância Two-Way para variável de Ingrediente Ativo (I.A.) e variável tempo de tratamento preservativo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas por processo industrial.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	153,665	19,208	21,622	<0,001
Tratamento	2	172,171	86,085	96,903	<0,001
Espécie x Tratamento	16	35,492	2,218	2,497	0,003
Residual	107	95,056	0,888		
Total	133	458,108	3,444		
Coeficiente de Variação (%)		21,7			

Tabela 1-5: Análise de variância Two-Way para variável de Ingrediente CrO₃ e variável tempo de tratamento preservativo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas por processo industrial.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Especie	8	30,947	3,868	23,455	<0,001
Tratamento	2	32,229	16,115	97,704	<0,001
Especie x Tratamento	16	6,921	0,433	2,623	0,002
Residual	107	17,648	0,165		
Total	133	88,078	0,662		
Coeficiente de Variação (%)		19,6			

Tabela 1-6: Análise de variância Two-Way para variável de Ingrediente CuO e variável tempo de tratamento preservativo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas por processo industrial.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Especie	8	4,163	0,52	17,981	<0,001
Tratamento	2	6,671	3,336	115,266	<0,001
Especie x Tratamento	16	0,761	0,0476	1,644	0,07
Residual	107	3,096	0,0289		
Total	133	14,732	0,111		
Coeficiente de Variação (%)		20,1			

Tabela 1-7: Análise de variância Two-Way para variável de Ingrediente As₂O₅ e variável tempo de tratamento preservativo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp. preservadas por processo industrial.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Especie	8	25,039	3,13	20,223	<0,001
Tratamento	2	23,796	11,898	76,878	<0,001
Especie x Tratamento	16	7,324	0,458	2,958	<0,001
Residual	107	16,56	0,155		
Total	133	72,991	0,549		
Coeficiente de Variação (%)		27,3			

Tabela 1-8: Análise de variância On-Way para variável de rachadura no topo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	80,277	10,035	1,242	0,304
Resíduo	36	290,758	8,077		
Total	40	371,035			
Coeficiente de Variação (%)		87,7			

Tabela 1-9: Análise de variância On-Way para variável de abertura de fenda de topo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	890,519	111,315	3,698	0,003
Resíduo	36	1083,729	30,104		
Total	40	1974,248			
Coeficiente de Variação (%)		36,3			

Tabela 1-10: Análise de variância On-Way para variável de comprimento da fenda no topo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	40374,707	5046,838	1,114	0,377
Resíduo	36	163105,45	4530,707		
Total	40	203480,15			
Coeficiente de Variação (%)		46,2			

Tabela 1-11: Análise de variância On-Way para variável de rachadura na base em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	39,143	4,893	0,884	0,540
Resíduo	36	199,324	5,537		
Total	40	238,461			
Coeficiente de Variação (%)		76,7			

Tabela 1-12: Análise de variância On-Way para variável de abertura de fenda na base em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	875,628	109,454	3,266	0,007
Resíduo	36	1206,475	33,513		
Total	40	2082,103			
Coeficiente de Variação (%)		42,8			

Tabela 1-13: Análise de variância On-Way para variável de comprimento de fenda na base em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	48704,082	6088,010	1,363	0,245
Resíduo	36	160757,68	4465,491		
Total	40	209461,77			
Coeficiente de Variação (%)		47,6			

Tabela 1-14: Análise de variância On-Way para variável de abertura de fenda no corpo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	628,720	78,590	8,711	<0,001
Resíduo	36	324,802	9,022		
Total	40	953,522			
Coeficiente de Variação (%)		54,8			

Tabela 1-15: Análise de variância On-Way para variável de comprimento de fenda no corpo em 9 espécies de *Eucalyptus* spp.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Espécie	8	65641,427	8205,178	2,703	0,019
Resíduo	36	109262,95	3035,082		
Total	40	174904,37			
Coeficiente de Variação (%)		54,3			