



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

AMANDA MOTA NUNES

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE LÂMINAS DE *Pinus* sp. COM SAIS DE
BORO NAS PROPRIEDADES DOS COMPENSADOS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

AMANDA MOTA NUNES

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE LÂMINAS DE *Pinus* sp. COM SAIS DE BORO NAS PROPRIEDADES DOS COMPENSADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista Coorientadores: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves e Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

N972i Nunes, Amanda Mota, 1992-
Influência do tratamento de lâminas de Pinus sp. com sais de boro nas propriedades dos compensados / Amanda Mota Nunes. – 2016.
106 f. : il.

Orientador: Djeison Cesar Batista.
Coorientadores: Fabricio Gomes Gonçalves ; Juarez Benigno Paes.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Painéis de madeira. 2. Ácido bórico. 3. Bórax. 4. Xilófagos.
5. Propriedades físico-mecânicas I. Batista, Djeison Cesar.
II. Gonçalves, Fabricio Gomes. III. Paes, Juarez Benigno.
IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE LÂMINAS DE PINUS SP. COM SAIS DE BORO NAS PROPRIEDADES DOS COMPENSADOS

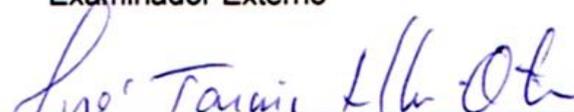
Amanda Mota Nunes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

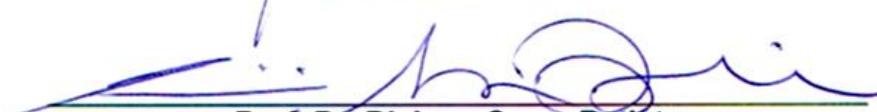
Aprovada em 16 de Fevereiro de 2017.



Prof. Dr. Edy Eime Pereira Baraúna
UFMG
Examinador Externo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Examinador Interno



Prof. Dr. Djeison Cesar Batista
UFES
Orientador

*“Os que confiam no Senhor recebem sempre novas forças.
Voam nas alturas como águias, correm e não perdem as
forças, andam e não se cansam ”. - Isaías 40:31*

Aos meus pais, Roseli Gondim da Mota Nunes e Adoniram Nunes Pereira, que nunca mediram esforços para a realização dos meus sonhos, mas mesmo assim sempre me ajudaram a manter os “pés no chão”; aos meus “corações fora do peito”: Luis Fillipe Mota Nunes e Maria Thereza Mota Lobo, por transmitir em seus olhares o motivo da minha persistência; e ao meu noivo Jefferson Rodrigues Fernandes, por sonhar comigo e ser morada nos dias tempestuosos, mesmo de longe.

Afetuosamente dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas experiências e oportunidade de sentir quão grande é Seu amor e cuidado para comigo; por me lembrar suas promessas a cada dificuldade (Hb 10:23), mostrando que maior é o Deus a quem eu sirvo. “Não há na Terra, ou em parte alguma, alguém que consiga frustrar os planos que Deus tem para aqueles que confiam”.

Aos meus pais, irmãos e sobrinha, por serem minha base forte e, mesmo sem saber, terem me sustentado emocionalmente durante os momentos de dificuldade.

Ao meu noivo Jefferson Rodrigues Fernandes, por sempre aceitar e apoiar minhas decisões, pois quando se tem em quem se apoiar tudo se torna menos árduo.

Ao meu mentor e “ex-orientador”, professor Dr. Edy Eime Pereira Baraúna, que me deu todo incentivo e suporte para buscar esse caminho, e por sempre se dispor em exercer papéis que só um pai se sujeitaria.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), na pessoa da professora. Dr^a. Marina Donária Chaves Arantes, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal e por disponibilizar a estrutura necessária para realização da pesquisa.

À empresa Fibria pela concessão da bolsa de estudo.

À empresa Compensados Galli Ltda., na pessoa do senhor Vitor, pela disponibilidade e parceria na doação das lâminas para realização da pesquisa.

Ao senhor Rhoney Bernardo Fonseca, da empresa Clinicampo, pela mão sempre estendida para abençoar e ajudar naquilo que estava ao seu alcance.

Ao Orientador, professor Djeison Cesar Batista, pela disponibilidade em assumir o compromisso da orientação.

Aos Coorientadores, professores Fabricio Gomes Gonçalves e Juarez Benigno Paes, por toda dedicação e disponibilidade, e principalmente pelos seres humanos que são. Em vocês encontrei grandes amigos, nos quais espero levar para a vida.

Aos professores Adair José Regazzi, Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Adriano Ribeiro de Mendonça e José Tarcísio da Silva Oliveira, minha gratidão pela disponibilidade e interesse em serem úteis, em todos os momentos de dúvidas. É pelo modo que tratam as pessoas que não podem lhes trazer benefício algum, que reconheci o caráter valioso que carregam em si.

Aos técnicos de laboratório Alexandre José de Almeida, Elecy Palácio Constantino e José Geraldo Lima de Oliveira, pelas mãos que me auxiliaram na realização de tarefas que iam além da minha capacidade de executar.

Àquelas que conviveram comigo nos momentos finais de guerra e me ensinaram que a diferença faz grandes amigos: Raghnya Sharon Ferreira Martins, Sabrina Barros Santiago e Izabella Luzia Chaves.

À Sabrina Daré Alves, que dividiu comigo não só o teto, mas momentos de dúvidas, saudades e conquistas.

A todos os amigos do PPGCF/UFES, em especial, Ana Paula Câmara, Gabrielly Bobadilha, João Gabriel Missia da Silva, Luciana Ferreira, Thais Mendes Brito e Sara Freitas de Souza, com os quais pude ter momentos de agradável convívio e aprendizado.

E àqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa etapa de formação não muito fácil, mas recompensadora.

BIOGRAFIA

Amanda Mota Nunes, filha de Adoniram Nunes Pereira e Roseli Gondim da Mota Nunes, nasceu no dia 22 de julho de 1992, na cidade de Formoso, estado de Goiás.

Concluiu o ensino médio na Escola Estadual Castro Alves, no ano de 2009, em sua cidade natal. Cursou Engenharia Florestal na Universidade Federal do Tocantins - UFT, *Campus* de Gurupi, com ingresso em 2010/1 e conclusão em 2014/2.

Em 2015, ingressou no curso de mestrado em Ciências Florestais, área de concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em Jerônimo Monteiro-ES.

Em 2017, concluiu os requisitos necessários para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

RESUMO GERAL

NUNES, A. M. **Influência do tratamento de lâminas de *Pinus* sp. com sais de boro nas propriedades dos compensados.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Orientador: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista. Coorientadores: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves, Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

A pesquisa sobre preservação de painéis compensados é relativamente recente no Brasil e se faz necessária pela importância da utilização de espécies do gênero *Pinus* na produção dos mesmos, pois são reconhecidamente de baixa durabilidade natural. O estudo dos sais de boro na preservação de produtos madeireiros objetiva potencializar a utilização de produtos químicos menos nocivos ao ambiente e à saúde humana. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do tratamento preservativo de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de sais de boro nas propriedades dos compensados. O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, representado por três compostos (ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax) e três concentrações (1%, 3% e 5%), mais um tratamento adicional (controle), em delineamento inteiramente casualizado. Os painéis foram produzidos com três lâminas exceto aqueles destinados ao ensaio de cisalhamento, que foram produzidos com cinco lâminas, previamente tratadas com as diferentes soluções de compostos de boro pelo método de imersão simples durante 15 minutos e adesivo ureia-formaldeído, destinados a uso interno. Foram avaliadas a resistência dos painéis contra térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e contra um fungo embolorador (*Penicillium* sp.), algumas propriedades físicas (higroscopicidade, densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicas (flexão estática paralela e perpendicular às fibras, e resistência ao cisalhamento na linha de cola). Todos os tratamentos foram eficientes contra os organismos xilófagos testados. O melhor desempenho contra térmitas de madeira seca foi dos tratamentos em concentrações de 3%. No geral, os resultados das propriedades físicas e mecânicas foram influenciados pelo material de estudo, excetuando-se a resistência ao cisalhamento, afetada negativamente pelo tratamento preservativo. Considerando a maior resistência biológica dos painéis e seu melhor desempenho físico e mecânico, sugere-se o uso da solução de ácido bórico a 3% para o tratamento de lâminas de *Pinus* sp. para uso em compensados de uso interno.

Palavras-chave: painéis de madeira; ácido bórico; bórax; imersão; xilófagos; propriedades físicas e mecânicas.

GENERAL ABSTRACT

NUNES, A. M. **Influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with boron salts on plywood's properties.** 2017. Dissertation (Master's degree in Forest Science) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Advisor: Prof. Dr. Djeison Cesar Batista. Co-advisor: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves, Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

Studies about plywood preservation are relatively recent in Brazil and they are necessary because of the use of *Pinus* sp. on its production, which are recognized as low natural durability species. Studies about the use of boron salts on the preservation of wood products aim to potentiate the use of less harmful products to humans and the environment. The aim of this study was to evaluate the influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with different solutions and concentrations of boron salts on plywood's properties. It was developed in a factorial scheme 3 x 3 + 1, represented by three compounds (boric acid, borax and boric acid + borax) and three concentrations (1%, 3% and 5%), besides a control (untreated), in a completely randomized design. Plywood was produced with three veneers, except the ones for glueline shear strength test (produced with five veneers), previously treated with the different boron solutions by simple immersion for 15 minutes, bonded with urea-formaldehyde which plywood was intended for interior use. Plywood was tested against dry-wood termites (*Cryptotermes brevis*) and mold (*Penicillium* sp.). Physical (hygroscopicity, apparent density, water absorption and swelling in thickness) and mechanical (static bending parallel and perpendicular to the fiber and glueline shear strength) properties were assessed. All treatments were efficient against dry-wood termites and mold. Three percent of concentration was the best against dry-wood termites. In general, physical and mechanical properties were more influenced by the raw material, except glueline shear strength, which were negatively affected by the boron compounds. Acid boric (3%) is recommended for treating *Pinus* sp. veneers intended for good performance plywood (intern use) regarding durability, physical and mechanicals.

Keywords: plywood; boric acid; borax; immersion; xylophages; physical and mechanical properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL	16
2.1	PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS COMPENSADOS.....	16
2.2	O GÊNERO <i>Pinus</i> E SUA IMPORTÂNCIA PARA A INDÚSTRIA MADEIREIRA	17
2.3	TRATAMENTO DE LÂMINAS E PAINÉIS COMPENSADOS	18
2.4	COMPOSTOS DE BORO NO TRATAMENTO DA MADEIRA	20
2.5	EFICIÊNCIA DOS COMPOSTOS DE BORO CONTRA ORGANISMOS XILÓFAGOS.....	22
2.6	INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVATIVO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA E DE COMPÓSITOS À BASE DE MADEIRA.....	24
3	REFERÊNCIAS GERAIS	27
	Capítulo 1 – Eficiência do tratamento de lâminas de <i>Pinus</i> sp. com compostos de boro na resistência de compensados à biodeterioração.....	33
	RESUMO.....	33
	ABSTRACT.....	34
1	INTRODUÇÃO	35
2	MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1	MATERIAL DE ESTUDO E TRATAMENTO DAS LÂMINAS	36
2.2	PRODUÇÃO DOS COMPENSADOS.....	37
2.3	AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DOS COMPOSTOS DE BORO NOS COMPENSADOS	37
2.4	RESISTÊNCIA A TÉRMITAS DE MADEIRA SECA.....	38
2.5	RESISTÊNCIA A FUNGO EMBOLORADOR (<i>Penicillium</i> sp.).....	39
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1	RETENÇÃO DOS COMPOSTOS DE BORO NOS COMPENSADOS.....	41
3.2	RESISTÊNCIA A TÉRMITAS DE MADEIRA SECA.....	43
3.2.1	<i>Mortalidade das térmitas (%)</i>	43

3.2.2	<i>Notas de desgaste causado pelas térmitas</i>	45
3.2.3	<i>Perda de massa dos painéis</i>	48
3.3	RESISTÊNCIA A FUNGO EMBOLORADOR (<i>Penicillium</i> sp.).....	51
4	CONCLUSÕES	54
5	REFERÊNCIAS	55
Capítulo 2 – Influência do tratamento de lâminas de <i>Pinus</i> sp. com compostos de boro nas propriedades físicas e mecânicas de compensados		57
RESUMO		57
ABSTRACT		58
1	INTRODUÇÃO	59
2	MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1	MATERIAL DE ESTUDO	60
2.2	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS COMPENSADOS	60
2.2.1	<i>Teor de umidade</i>	61
2.2.2	<i>Densidade aparente</i>	62
2.2.3	<i>Absorção de água e inchamento em espessura</i>	62
2.2.4	<i>Resistência à flexão estática</i>	63
2.2.5	<i>Resistência ao cisalhamento na linha de cola</i>	63
2.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	64
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
3.1	TEOR DE UMIDADE.....	65
3.2	DENSIDADE APARENTE	68
3.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	71
3.4	INCHAMENTO EM ESPESSURA	74
3.5	RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA	76
3.6	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	81
4	CONCLUSÕES	84
5	REFERÊNCIAS	87
CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES		89
APÊNDICE 1		90
APÊNDICE 2		95

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os painéis compensados possuem muitas utilizações, principalmente por suas boas características mecânicas, associadas a sua maior estabilidade dimensional, quando comparados à madeira da qual foram produzidos. No entanto, como todo produto à base de madeira, sua maior ou menor resistência à biodeterioração está diretamente relacionada com a espécie madeireira da qual as lâminas são produzidas (MENDES et al., 2013).

No cenário atual, quase a totalidade de painéis compensados produzidos no Brasil são de madeira de plantios comerciais de *Pinus* spp. A utilização de espécies desse gênero como potencial matéria-prima na produção de compensados está relacionada as suas características favoráveis à laminação, tais como boa forma de fuste e baixa densidade. No geral, madeiras com tais características tem como desvantagem abaixa durabilidade natural.

Como tentativa de melhorar a resistência à biodeterioração desses painéis, busca-se aplicar produtos preservativos aos mesmos, seja por meio de sistemas vácuo-pressão ou por adição na linha de cola (WANG; HENNINGSSON, 1989). Atualmente, há dois grupos de produtos comerciais que podem ser utilizados no tratamento de painéis compensados. No primeiro grupo, que é mais comumente utilizado, tem-se o arseniato de cobre cromatado (CCA) e o borato de cobre cromatado (CCB), ambos reconhecidamente tóxicos; no segundo grupo encontram-se alguns produtos à base de piretróides, como o Jimo Cupinox® e o Cipertrin® MD, os quais podem ser aplicados nas lâminas por imersão ou por adição dos mesmos na formulação da cola.

Por apresentarem alta difusibilidade, capacidade fungicida, cupinicida e ignífuga, serem de baixo custo, ambientalmente aceitáveis e facilmente lixiviáveis, os compostos de boro (ácido bórico, bórax e Timbor®) podem ser considerados promissores substitutos dos produtos tradicionais no tratamento de compensados de uso interno, sendo impregnados às lâminas de madeira pelo método de imersão simples, o que pouco afetará as propriedades do material e possuirá baixo custo de produção (THÉVENON; TONDI; PIZZI, 2010).

Conforme o exposto e considerando-se a escassez de pesquisas relacionadas ao tratamento de lâminas de *Pinus* spp. para a produção de compensados, buscou-

se investigar qual tipo de solução de compostos de boro seria mais eficaz na proteção de lâminas de *Pinus* sp. Esperava-se que melhores resultados de resistência à biodeterioração fossem obtidos para a solução de ácido bórico + bórax com concentração de 5%, e que, em razão do método de tratamento, não haveria efeitos negativos nas propriedades físicas e mecânicas dos compensados.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do tratamento preservativo de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de compostos de boro nas propriedades dos compensados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- › Avaliar a retenção das soluções nos compensados.
- › Avaliar a eficiência do tratamento com as diferentes soluções na proteção dos compensados contra térmitas de madeira seca e fungos emboloradores. Analisar a influência do tratamento nas propriedades físicas higroscopicidade, densidade aparente (12%), absorção de água e inchamento em espessura dos compensados.
- › Verificar a influência do tratamento na resistência dos compensados à flexão estática (módulo de ruptura - MOR e módulo de elasticidade - MOE) e ao cisalhamento na linha de cola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

2.1 PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS COMPENSADOS

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI (2013), as principais indústrias brasileiras de compensados localizam-se na Região Sul, notadamente nos estados do Paraná e Santa Catarina, em virtude da crescente perspectiva de utilização e demanda de madeira de reflorestamento como matéria-prima, principalmente *Pinus spp.*

Ainda conforme a ABIMCI (2013), a indústria brasileira de compensados de *Pinus spp.* produziu 2,09 milhões de m³ em 2012, representando um crescimento de 3,2% a.a. e de 45% acumulado no período de 12 anos (2000-2012). No período de 2010 a 2012, cerca de 50% da produção foi consumida internamente. Apesar de alguns períodos com queda, a taxa de crescimento acumulada das exportações no referido período foi positiva: 138% em volume (7,5% a.a.) e 33% em valor (2,4% a.a.).

Os painéis compensados são produzidos pela sobreposição de lâminas de madeira, unidas ortogonalmente entre si por adesivos e prensagem, e apresentam melhores características de estabilidade dimensional e de distribuição da resistência nos sentidos longitudinal e transversal que a madeira sólida (IWAKIRI, 2005; OLIVEIRA; FREITAS, 1995).

Os compensados geralmente são produzidos com um conjunto ímpar de lâminas e são classificados de maneira genérica de acordo com sua utilização conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR3 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Os painéis produzidos com adesivo ureia-formaldeído são classificados como de uso interno (IWAKIRI, 2005).

A colagem adequada da madeira está diretamente relacionada às características físico-químicas do adesivo, à composição química e à estrutura anatômica da madeira, aos procedimentos empregados na colagem e às condições de uso. As características do adesivo relacionadas aos princípios básicos de colagem e que devem ser consideradas são: viscosidade, tempo de gelatinização, teor de substâncias sólidas e pH (IWAKIRI, 2005).

As propriedades da madeira devem ser majoritariamente consideradas na definição dos parâmetros de colagem dos compensados, especificamente as características anatômicas, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade

que ocorre, por exemplo, entre cerne e alburno, lenho juvenil e adulto (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Tendo em vista as interações que ocorrem entre a porosidade da madeira e a absorção do adesivo na formação da ligação adesiva entre as lâminas, a relevância da anatomia da madeira na colagem está relacionada aos seus efeitos no movimento do adesivo para o interior da estrutura da madeira (IWAKIRI, 2005; IWAKIRI et al., 2012).

2.2 O GÊNERO *Pinus* E SUA IMPORTÂNCIA PARA A INDÚSTRIA MADEIREIRA

O gênero *Pinus* L. possui cerca de 90 espécies identificadas, fisiologicamente resistentes à seca, tolerantes a diferentes faixas de temperatura e com diferentes exigências quanto às características de solo. Sua área de ocorrência natural vai da região polar aos trópicos, englobando os continentes da Europa, Ásia, América do Norte e América Central, não ocorrendo naturalmente na América do Sul (MARCHIORI, 1996).

A introdução do *Pinus* no Brasil ocorreu primeiramente para fins ornamentais e silviculturais (PEREIRA, 1990). A adaptação ao clima e aos solos ligeiramente ácidos, característica predominante no Brasil, juntamente com o desenvolvimento de práticas silviculturais adequadas, possibilitou o cultivo desse gênero em extensas áreas para fins industriais (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

As principais espécies introduzidas com sucesso no Brasil foram *Pinus elliottii* var. *elliottii*, *Pinus elliottii* var. *densa*, *Pinus taeda* e *Pinus patula*, originários de regiões subtropicais; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus kesiya*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Pinus tecunumanii*, originários de regiões tropicais. Desses, os mais importantes são: *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

Conforme dados de 2015 da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2016), os plantios brasileiros de *Pinus* spp., ocupam 1,58 milhão de hectares, concentram-se principalmente no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) e possuem produtividade média de 31 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Pelas características favoráveis à laminação, a perspectiva de utilização de madeira de *Pinus* spp. para a produção de compensados é crescente, em substituição à oferta reduzida de madeiras tropicais, relacionada ao elevado custo de transporte aos centros consumidores (ABIMCI, 2013; KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

No entanto, sabe-se que um problema apresentado pela madeira de *Pinus* spp. é sua baixa resistência natural à biodeterioração, sendo comumente colonizada por fungos manchadores e emboloradores, que pode ocorrer desde a colheita até o seu processamento, além de ser atacada por térmitas de madeira seca quando em serviço. Porém, em comparação às demais espécies madeireiras de interesse comercial, como as do gênero *Eucalyptus*, é facilmente tratável em razão da sua estrutura anatômica permeável.

2.3 TRATAMENTO DE LÂMINAS E PAINÉIS COMPENSADOS

Para a preservação de superfícies de madeira, os procedimentos mais simples e baratos são os tratamentos de superfície, tais como pincelamento ou pulverização de produtos químicos sobre os compósitos colados. Contudo, esses métodos de tratamento não são eficientes, uma vez que apenas a camada exterior da madeira é protegida e a maior parte da mesma permanece sem tratamento (ARCHER; LEBOW, 2006).

Em contrapartida, o método de impregnação por meio de vácuo-pressão tem se mostrado eficiente na preservação de compensados, no entanto, pode encarecer a produção dos painéis, por requerer o uso de adesivos mais resistentes à umidade e pressão, ou ainda, resultar em defeitos nas linhas adesivas, como fissuras, contração e inchamento (LESAR et al., 2011).

Outro método empregado na preservação de painéis de madeira é a adição de produtos preservativos na linha de cola, porém, um problema prático encontrado nesse tipo de impregnação é a incompatibilidade de produtos inorgânicos com os adesivos industriais (LAHIRY, 2005). No Brasil, os principais produtos utilizados na proteção de madeira colada são formulações à base de CCA e CCB, empregadas no tratamento por vácuo-pressão em autoclaves, e inseticidas do grupo dos piretróides (Jimo Cupinox® e Cipertrin® MD) incorporados aos adesivos ou aplicados por imersão das lâminas.

Segundo especificações dos fabricantes, a concentração requerida do princípio ativo do produto Jimo Cupinox® para incorporação na linha de cola é de 100 g m⁻³ de compensado, equivalente a 2 kg de produto por metro de madeira ou lâmina (JIMO, 2016); para o produto Cipertrin MD®, em incorporação na linha de cola, é requerido a quantidade de 1 L m⁻³ de madeira, e por imersão (30 segundos) é necessário a dissolução de 2 L do produto em 98 L de água, ou seja, na concentração de 2% (MSM QUÍMICA, 2016).

Geralmente aplicados por meio de pressão em autoclave, a retenção mínima exigida de CCA e CCB para peças de madeira utilizadas sem contato e em contato com o solo é de 4,0 ou 6,5 kg de ingrediente ativo por metro cúbico, respectivamente, conforme NBR 9480 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009).

Internacionalmente, o tratamento de produtos colados à base de madeira é mais comum que no Brasil. Nota-se uma maior preocupação em se realizar estudos relacionando diferentes métodos e sua influência no comportamento dos painéis. Os métodos preservativos mais difundidos são os de imersão (COLAK; COLAKOGLU, 2004; HIRATA et al., 1992; KARTAL; AYRILMIS, 2005; LAHIRY, 2005; REINPRECHT; KMET'OVÁ, 2014), adição de produtos na formulação da cola (COLAK; COLAKOGLU, 2004; COLAKOGLU; DEMIRKIR, 2005; KALAWATE et al., 2016; OZALP, 2010; SENSOGUT; OZALP; YESIL, 2009; YILDIZ et al., 2009) e aplicação de vácuo-pressão (OZÇIFÇI, 2008; PRZEWLOKA; HANN; VINDEN, 2006).

Como mencionado, são poucos os produtos colados à base de madeira que recebem algum tratamento preservativo no Brasil e, quando isso é realizado, o método mais utilizado é a incorporação de produtos preservativos na linha de cola ou a aplicação de vácuo-pressão.

Além da maior preocupação em agregar algum tratamento preservativo no processo de produção de produtos colados à base de madeira, nota-se um maior interesse dos pesquisadores estrangeiros no estudo da influência do tratamento preservativo nas propriedades dos painéis. Isso porque é desejável que, além de garantir a durabilidade necessária, o preservativo não prejudique a resistência mecânica do produto tratado (LEBOW, 2010).

2.4 COMPOSTOS DE BORO NO TRATAMENTO DA MADEIRA

O potencial comercial dos boratos como substâncias preservativas para madeira é reconhecido desde a década de 1930, havendo relatos da primeira utilização na Austrália e na Nova Zelândia, em recomendação ao controle de coleobrocas e térmitas subterrâneas (DRYSDALE, 1994).

Na Austrália, a primeira utilização de compostos de boro foi no tratamento de lâminas produzidas de madeira de alburno de folhosas, as quais necessitavam de proteção contra xilófagos. O tratamento preservativo era realizado pelo método de imersão das lâminas em uma solução de ácido bórico (concentração de 1,25%) a 93 °C por um período de 10-40 minutos. No entanto, para esse tipo de tratamento, havia a necessidade de equipamentos específicos de aquecimento para a viabilidade da preservação, o que reduzia eficiência do processo (TAMBLYN, 1949¹, citado por COOKSON, 2004).

Na Nova Zelândia, o uso de boratos objetivou a proteção de madeira de *Pinus radiata* contra os coleópteros *Anobium punctatum*, comuns em mobília (SPILLER², 1948 citado por COOKSON, 2004). O método mais comum de tratamento era a imersão da madeira em soluções altamente concentradas de boro (por exemplo: Timbor[®]) durante 6-8 semanas. Até meados de 1986, quase a totalidade de madeira tratada com boro na Nova Zelândia (99%) utilizava o método de imersão (VINDEN, 1990³, citado por COOKSON, 2004).

O boro é a única substância preservativa incolor, inodora, que possui baixa toxicidade a mamíferos, capacidade fungicida, inseticida e propriedades ignífugas (THENEVON; PIZZI; HALUK, 1997; WILLIAMS, 1980⁴ citado por YALINKILIC et al., 1998).

Com a criação de regulamentações que restringem determinados usos para a madeira tratada com CCA pela *Environmental Protection Agency* (EPA), os boratos

¹ TAMBLYN, N. A momentary dip treatment for green veneer. **C.S.I.R.O. Forest Products Newsletter**, n. 171, p. 1-2, 1949.

² SPILLER, D. Toxicity of boric acid to the common house borer (*Anobium punctatum* de Geer). **New Zealand Journal of Science and Technology**, v. 29 (Sect. B): p. 22-23, 1948.

³ VINDEN, P. Treatment with boron in the 1990s. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD PROTECTION WITH DIFFUSIBLE PRESERVATIVES, 1. **Forest Products Research Society**, Madison, WI, p. 22-25, 1990.

⁴ WILLIAMS L. H. Potential benefits of diffusible preservatives for wood protection: an analysis with emphasis on building protection. **Proc. of First Int. Conf. on Wood Protection with Diffusible Preservatives**, 28-30 Nov. Nashville, Tennessee, p. 29-34, 1980.

têm desempenhado um papel cada vez maior na proteção da madeira em todo o mundo, principalmente nos Estados Unidos da América (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

Por apresentarem um amplo espectro de ação fungicida e inseticida, os boratos são considerados mais eficazes que substâncias preservativas à base de cobre e zinco. No entanto, estes apresentam melhor desempenho que os boratos no tocante a capacidade de fixação na madeira (LLOYD; FOGEL; VIZEL, 2001).

Por sua alta solubilidade, os compostos de boro são altamente lixiviáveis, limitando seu uso a peças de madeira submetidas a pouco contato com umidade, ou seja, ao uso interno (TONDI et al., 2012). No entanto, por se conhecer o seu potencial, têm sido realizados estudos buscando melhorar a fixação do boro na madeira (BAYSAL; YALINKILIC, 2005; OBANDA; SHUPE; BARNES, 2008; RAMOS; JORGE; BOTELHO, 2006).

Na utilização dos compostos de boro como substâncias preservativas contra a ação de fungos e insetos, houve maior eficácia contra térmitas; como aditivos em retardantes de chama, são usados para diminuir a gravidade da degradação térmica da madeira (AYRILMIS, 2013).

Atualmente, os boratos disponíveis para uso na proteção da madeira são eficazes se utilizados tanto em misturas como separadamente, e incluem formulações preparadas de tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), pentaborato de sódio (NaB_5O_8), ácido bórico (H_3BO_3) e, mais comumente, octaborato dissódico tetrahidratado – DOT ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). A eficácia das formulações depende unicamente da quantidade de boro aplicado na madeira, independente do composto usado como base (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

O ácido bórico contém 17,5% de boro em sua constituição e, por possuir baixa solubilidade em água, é necessário que a solução seja aquecida para a obtenção de concentrações acima de 4%. Diferentemente, o bórax não é corrosivo e pode ser encontrado na forma hidratada ou pentahidratada, possuindo em sua constituição 11,4 e 14,9% de boro, respectivamente. O DOT, obtido pela mistura do ácido bórico e do bórax pentahidratado, possui 21,0% de boro em sua constituição (COOKSON, 2004).

O boro é utilizado na forma de óxidos em aplicações biológicas, seja na forma de boratos ou ácido bórico. Essas formulações quando dissolvidas em meio ácido, como a madeira (pH 4-5), são convertidas em ácido bórico (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

No final do século passado, LeVan e Tran (1990) projetaram que, os compostos de boro seriam os preservativos mais investigados para tratamento de produtos à base de madeira, como os painéis compensados, em virtude dos seus efeitos benéficos, conforme mencionados anteriormente.

2.5 EFICIÊNCIA DOS COMPOSTOS DE BORO CONTRA ORGANISMOS XILÓFAGOS

Em razão da sua baixa toxicidade a mamíferos e alta difusibilidade, os boratos podem ser utilizados no tratamento da madeira em níveis mais concentrados que os demais preservativos (LLOYD, 1998). Os primeiros compostos de boro utilizados na preservação de madeiras foram o ácido bórico e o bórax, e constituíam a formulação de várias misturas patenteadas em 1933 (COCKCROFT; LEVY, 1975⁵, citados por FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

Desde então, os boratos têm sido utilizados no controle do ataque de *Lyctus* spp. e térmitas, sendo a primeira aplicação industrial realizada em 1949, usando difusão rápida de mistura de boratos (DRYSDALE, 1994). No entanto, pouco se entende acerca do mecanismo de ação dos boratos contra organismos xilófagos.

Sabe-se que a exposição de algumas espécies de fungos a compostos de boro resulta na interrupção do crescimento de hifas, peritécios e ascósporos, e na falha de clivagem de gametas (BOWEN; GAUCH, 1966; ZITTLE, 1951⁶, citado por LLOYD, 1998). No controle de fungos manchadores, os compostos de boro são mais eficientes em pH mais elevados (SCHEFFER; LINDGREN, 1940). Para esses organismos, soluções de tetraborato dissódico são menos eficazes que soluções de ácido bórico ou bórax (LLOYD, 1998). Dois quilogramas por metro cúbico de equivalente de ácido bórico (EAB) é a retenção mínima requerida para o controle de fungos manchadores com soluções de tetraborato dissódico (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

Quando utilizado isoladamente, o tetraborato dissódico apresenta efetividade limitada contra fungos emboloradores, sendo efetivo em altas concentrações (15% de EAB) contra *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium brevicompactum* e

⁵ COCKCROFT, R.; LEVY, J.F. Bibliography on the use of boron compounds for the preservation of wood. Stockholm, **International Research Group on Wood Preservation**, 1975. IRG/WP 315.

⁶ ZITTLE, Z. A. Reaction of borate with substance of biological interest. **Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry**, v. 12, p. 493-527, 1951.

Stachybotrys chartarum, e contra *Aspergillus niger* em concentrações a partir de 8,5% de EAB (MICALES-GLAESER; LLOYD; WOODS, 2004). Para esses boratos, uma maior efetividade pode ser conseguida se utilizados em mistura com outros biocidas (JORGE; NUNES; BOTELHO, 2004).

Soluções de ácido bórico e bórax têm se demonstrado eficientes contra o fungo de podridão parda *Fomitopsis palustris* e de podridão branca *Trametes versicolor*, os quais, diferentemente dos fungos cromógenos, têm sido mais estudados. Para o fungo de podridão parda, a maior eficiência foi observada pelo uso de soluções com 6% de concentração, ao passo que para o fungo de podridão branca não houve diferença significativa entre as concentrações e formulações, apesar de as amostras tratadas com soluções de ácido bórico (3% e 6%) terem apresentado menor perda de massa (KARTAL; AYRILMIS; IMAMURA, 2007).

Já a exposição de térmitas aos compostos de boro ocasiona uma resposta gradual de rejeição dos mesmos ao ataque de peças preservadas (CAMPORA; GRACE, 2007). Acredita-se que os compostos de boro ocasionem a perda da flora intestinal desses insetos, no entanto, supõe-se que a morte dos mesmos ocorra por ação do boro em nível celular, em razão do tempo requerido de exposição (GRACE, 1997).

Em ensaios de campo, tem-se observado que a resposta de rejeição das térmitas a peças tratadas com boro é mais comum. Assim como em ensaios de preferência alimentar, nos quais as térmitas tendem a se alimentar mais de amostras de madeiras não tratadas (AHMED; FRENCH; VINDEN, 2004; GRACE et al. 2006; KARTAL; YOSHIMURA; IMAMURA, 2004; KARTAL; AYRILMIS, 2005).

Trabalhos sistematizados por Drysdale (1994) e Jorge, Nunes e Botelho (2004) evidenciaram a eficiência do ácido bórico e do DOT em baixas concentrações, respectivamente, contra diversos fungos apodrecedores e térmitas subterrâneas. Em uma retenção mínima de 0,2% de EAB a madeira está protegida contra o ataque de *Lyctus* spp.; com 0,3% está protegida contra térmitas; e com 0,5% está protegida contra fungos de podridão parda e branca (WILLIAMS; MAULDIN, 1986⁷, citados por WILLERDING; VIANEZ, 2003).

⁷ WILLIAMS, L. H.; MAULDIN, J. K. Integrated protection against lyctid beetle infestations. III. Implementing boron treatment of virola lumber in Brazil. **Forest Products Journal**, v. 36, n. 11/12, p. 24-28, 1986.

Como o uso dos compostos de boro na preservação de madeira e derivados é mais comum em países de clima temperado, onde os problemas mais significativos de biodeterioração são causados por fungos apodrecedores e térmitas subterrâneas, há pouco conhecimento sobre a eficiência desses compostos contra térmitas de madeira seca.

O tratamento de amostras de madeira (15 x 25 x 50 mm - espessura x largura x comprimento) de *Pinus radiata* e *Eucalyptus regnans* com soluções de ácido bórico, respectivamente com níveis de retenção de 0,14-0,37% e 0,25-5,6% (EAB), demonstrou a eficiência do composto contra térmitas subterrâneas (*Coptotermes acinaciformis*). Foi verificada menor perda de massa para as amostras com maiores níveis de retenção (AHMED; FRENCH; VINDEN, 2004).

Soluções de ácido bórico e de bórax em concentrações de 3% e 6% conferiram resistência a painéis compensados da espécie africana *Tetraberlinia bifoliolata* contra térmitas subterrâneas *Coptotermes formosanus*, ocasionando uma taxa de mortalidade de 100% e diminuindo significativamente a perda de massa das amostras, evidenciando a efetividade destes compostos contra tais insetos. A maior eficiência foi para ambas as soluções na concentração de 6% (KARTAL; AYRILMIS; IMAMURA, 2007).

2.6 INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVATIVO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA E DE COMPÓSITOS À BASE DE MADEIRA

O efeito da aplicação de preservativos nas propriedades da madeira é dependente do tipo de produto e da espécie, estando relacionado às reações de fixação do mesmo. Os óxidos metálicos, comumente usados na formulação de produtos hidrossolúveis, reagem quimicamente com os componentes da parede celular durante o processo de fixação, por meio da hidrólise e reagindo com os açúcares que compõem a estrutura da madeira. Essa reação oxida os componentes da parede celular e podem reduzir a resistência mecânica da madeira (WINANDY, 1996).

Outro fator a ser considerado no tratamento preservativo é a escolha do método de impregnação, porque além de agregar custos à produção, pode afetar as propriedades do material a ser tratado. Em geral, tratamentos envolvendo uso de

vácuo-pressão e elevadas temperaturas tendem a influenciar mais as propriedades mecânicas da madeira do que tratamentos em que esses fatores estão ausentes.

No tratamento por imersão de painéis *laminated veneer lumber* (LVL) de faia (*Fagus* sp.), a solução de ácido bórico (concentração de 5%) ocasionou redução na resistência ao fendilhamento e compressão perpendicular às fibras. Contudo, houve melhorias nas propriedades de resistência à compressão paralela às fibras, arrancamento de parafusos e dureza Brinell (COLAKOGLU et al., 2003).

Em painéis à base de plástico-madeira (*wood polymer composite* – WPC) produzidos com madeira de *Pinus sylvestris* tratada com ácido bórico e bórax (1% de concentração), a adição dos compostos de boro ocasionou efeitos negativos na flexão estática (módulo de ruptura - MOR e módulo de elasticidade - MOE) e no inchamento (BAYSAL et al., 2007). Em painéis compensados tratados com soluções de ácido bórico a 5%, a higroscopicidade foi reduzida em relação aos compensados não tratados (HIRATA et al., 1992).

A avaliação da influência da impregnação de diferentes espécies madeireiras (*Fagus orientalis*, *Quercus petraea*, *Abies bornmülleriana* e *Populus nigra*) com ácido bórico, bórax e a mistura de ambos, na resistência ao cisalhamento na linha de cola de diferentes adesivos (poliacetato de vinila, poliuretano, fenol-formaldeído e ureia-formaldeído), mostrou que o efeito foi negativo para todos os tipos de adesivos e espécies estudadas (OZÇIFÇI, 2008).

Em painéis compensados de *Bombax ceiba* tratados com soluções a 60 °C por 20, 40 e 60 minutos e a 27-30 °C por 1, 2 e 3 dias de ácido bórico e bórax, na proporção de 1:1 de preservativo (ácido bórico:bórax), nas concentrações de 1:10, 1:20 e 1:40 (preservativo:água), observou-se diminuição do inchamento em espessura e absorção em água (2h e 24h) em relação ao controle. Para todas as concentrações e temperaturas, quanto maior o tempo de tratamento, maior o inchamento em espessura e a absorção de água dos painéis (AKHTER; RAHAMAN; ARA, 2012).

Diferentemente dos tratamentos preservativos que utilizam imersão, o efeito da adição do produto preservativo na linha de cola depende da interação do mesmo com o tipo de adesivo e sua composição química. Para a colagem de lamelas de madeira de *Picea abies*, o adesivo poliuretano (PUR) modificado com a adição de ácido bórico (concentrações finais de boro de 0,1% e 0,5%) atendeu satisfatoriamente aos requisitos de resistência ao cisalhamento, falha na madeira e delaminação. Foram

obtidos melhores resultados que o tratamento em que se utilizou o adesivo puro (LESAR; GORISEK; HUMAR, 2009).

Para as amostras coladas com ureia-melamina-formaldeído a adição de ácido bórico não apresentou efeito significativo na qualidade de ligação das lamelas, demonstrando que o efeito da adição do ácido bórico na adesão depende do tipo de adesivo e sua composição química (LESAR; GORISEK; HUMAR, 2009).

Em painéis compensados produzidos com lâminas de *Aucoumea klaineana*, colados com ureia-formaldeído e adição de diferentes concentrações de bórax (5,5% e 2,75%) na proporção de 5% da formulação da cola, não houve diferença de resistência ao cisalhamento entre os painéis tratados e o controle (COLAKOGLU; DEMIRKIR, 2006).

Foi testada a influência de um novo produto na preservação de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*, denominado CEB (composto por etanolamina, ácido octanóico, sulfato de cobre, ácido bórico e propiconazole), que foi incorporado na formulação da cola (fenol-formaldeído). Comparado ao controle, o aumento da concentração de CEB causou redução na resistência à flexão estática (MOR e MOE) e no cisalhamento das linhas de cola (KALAWATE et al., 2016).

Desse modo, o conhecimento do efeito de uma substância preservativa na adesão e nas propriedades da madeira e seus derivados é algo fundamental. Isso porque a escolha do produto preservativo adequado para o tratamento desses materiais ocorre em função do uso final dos mesmos, devendo lhe proporcionar a durabilidade necessária sem afetar as demais propriedades (LEBOW, 2010).

3 REFERÊNCIAS GERAIS

AHMED, B. M.; FRENCH, J. R.; VINDEN, P. Evaluation of borate formulations as wood preservatives to control subterranean termites in Australia. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, n. 4, p.446-454, 2004.

AKHTER, K.; RAHAMAN, M. M.; ARA, A. Effect of preservative treatment on dimensional stability of plywood made of treated simul (*Bombax ceiba*) veneer. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2012. (IRG/WP 12-40575).

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 158-166, 2000.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood Preservation. In: WALKER, J. C. F. (ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. 2 ed. Dordrecht: Springer, 2006. p. 297-338.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**: ano base 2012. Curitiba: ABIMCI, 2013. 127p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR - 9480**: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais - requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

AYRILMIS, N. Combined effects of boron and compatibilizer on dimensional stability and mechanical properties of wood/HDPE composites. **Composites**, [S.l.], v. 44, p. 745-749, 2013.

BAYSAL, E. et al. Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 21, p. 1879-1885, 2007.

BAYSAL, E.; YALINKILIC, M. K. A new boron impregnation technique of wood by vapor boron of boric acid to reduce leaching boron from wood. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 39, p. 187-198, 2005.

BOWEN, J. E.; GAUCH, H. G. Nonessentiality of boron in fungi and the nature of its toxicity. **Plant physiology**, [S.l.], n. 41, v. 2, p. 319-324, 1966.

CAMPORA, C. E.; GRACE, J. K. Foraging behavior of the *Formosan* subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to borate treated wood. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2007. (IRG/WP 07-10605).

COLAK, S.; COLAKOGLU, G. Volatile acetic acid and formaldehyde emission from plywood treated with boron compound. **Building and Environment**, [S.l.], v. 39, p. 533-536, 2004.

COLAKOGLU, G.; DEMIRKIR, C. Characteristics of plywood panels produced with urea formaldehyde resin (UF) containing borax. **Holz als Roh- und Werkstoff**, [S.l.], v. 64, p. 250-251, 2006.

COLAKOGLU, G. et al. Effect of boric acid treatment on mechanical properties of laminated beech veneer lumber. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 37, n. 4, p. 505-510, 2003.

COOKSON, L. J. **Treatment methods for the protection of hardwood sapwood from lyctine borers**. Victoria: Forest and Wood Products Research and Development Corporation, 2004. 23p.

DRYSDALE, J. A. Boron treatments for the preservation of wood - a review of efficacy data for fungi and termites. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 1994. (IRG/WP 94-30037).

FREEMAN, M. H.; MCINTYRE, C. R.; JACKSON, D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. **AWPA**, Birmingham v. 105, p. 279-294, 2009.

GRACE, J. K. Review of recent research on the use of borates for termite prevention. **Forest Products Society**, Madison, p. 85-92, 1997.

GRACE, J. K. et al. Performance of borate-treated lumber after 8 years in an above-ground termite field test in Hawaii. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2006. (IRG/WP 06-30390).

HIRATA, T. et al. Combustion gas toxicity, hygroscopicity, and adhesive strength of plywood treated with flame retardants. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 26, p. 461-473, 1992.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da IBÁ: ano base 2015**. Brasília: IBÁ, 2016. 100p.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005. 247p.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina uréia-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 809-816, 2012.

JIMO QUÍMICA INDUSTRIAL LTDA. **Indicações de uso:** produto Jimo cupinox gel. Disponível em: <<http://www.jimo.com.br/br/produtos/jimo-cupinox-gel>>. Acesso em: 11 out. 2016.

JORGE, F. C.; NUNES, L.; BOTELHO, C. Boron in wood preservation: problems, challenges and proposed solutions - an overview on recent research. **Journal from the Faculty of Science and Technology**, [S.l.], v. 1, p. 3-15, 2004.

KALAWATE, A. et al. Evaluation of mechanical properties of plywood treated with a new wood preservative (CEB) chemical. **Journal of the Institution of Engineers (India): Series D**, Berlin, 2016. (DOI 10.1007/s40033-015-0108-2).

KARTAL, S. N.; AYRILMIS, N. Blockboard with boron-treated veneers: laboratory decay and termite resistance tests. **International Biodeterioration and Biodegradation**, Elsevier, v. 55, p. 93-98, 2005.

KARTAL, S. N.; AYRILMIS, N.; IMAMURA, Y. Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants. **Building and Environment**, [S.l.], v. 42, p. 1207-1211, 2007.

KARTAL, S. N.; YOSHIMURA, T.; IMAMURA, Y. Decay and termite resistance of boron-treated and chemically modified wood by in situ co-polymerization of allyl glycidyl ether (AGE) with methyl methacrylate (MMA). **International Biodeterioration and Biodegradation**, [S.l.], v. 53, p. 111-117, 2004.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160p.

LAHIRY, A. K. Non-pressure treatability of plywood by CCA, CCB and boron. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2005. IRG/WP 05-40295.

LEBOW, S. T. Wood Preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Centennial ed. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010., p. 15-1 – 15-28.

LESAR, B. et al. Influence of boron compounds in adhesives on the bonding quality and fungicidal properties of wood. **Wood Research**, Bratislava, v. 56, n. 3, p. 285-296, 2011.

LESAR, B.; GORISEK, Z.; HUMAR, M. Sorption properties of wood impregnated with boron compounds, sodium chloride and glucose. **Drying Technology**, [S.l.], v. 27, p. 94-102, 2009.

LEVAN, S. L.; TRAN, H. C. The role of boron in flame-retardant treatments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD PROTECTION WITH DIFFUSIBLE PRESERVATIVES, 1., 1990, Nashville, Tennessee. **Proceedings...** Forest Products Society, Madison, p. 39-41, 1990.

LLOYD, J. D. Borates and their biological applications. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 1998. IRG/WP 98-30178.

LLOYD, J.D., FOGEL, J.L., VIZEL, A. The use of zirconium as an inert fixative for borates in preservation. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2001. IRG/WP 01-30256.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Editora UFSM, 1996. 158p.

MENDES R. F. et al. Efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre as suas propriedades físico-mecânicas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 507-513, 2013.

MICALES-GLAESER, J. A.; LLOYD, J. D.; WOODS, T. L. Efficacy of didecyl dimethyl ammonium chloride (DDAC), disodium octaboratetetrahydrate (DOT), and chlorothalonil (CTL) against common mold fungi. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2004. IRG/WP 04-30338.

MSM QUÍMICA LTDA. **Modo de aplicação**: produto Cipertrin MD. Disponível em: <<http://www.msmquimica.ind.br/arquivos/BULA%20CIPERTRIN.pdf>> Acesso em: 11 out. 2016.

OBANDA, D. N.; SHUPE, T. F.; BARNES, H. M. Reducing leaching of boron-based wood preservatives – a review of research. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 99, p. 312-322, 2008.

OLIVEIRA, J. T. da S.; FREITAS, A. R. de. **Painéis à base de madeira**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995. 41p.

OZALP, M. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of medium density fiberboard (MDF). **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 68, p. 117-119, 2010.

OZÇİFÇİ, A. Impacts of impregnation with boron compounds on the bonding strength of wood materials. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 22, p. 541-545, 2008.

PEREIRA, B. A. S. Introdução de coníferas no Brasil: um esboço histórico. **Cadernos de Geociências**, Brasília, n. 4, p. 25-38. 1990.

PRZEWLOKA, S. R.; HANN, J. A.; VINDEN, P. Preliminary screening of a boron based wood preservative for biological efficacy (fungicidal) in treated timber. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2006. IRG/WP 06-30396.

RAMOS, A. M.; JORGE, F. C.; BOTELHO, C. Boron fixation in wood: studies of fixation mechanisms using model compounds and maritime pine. **Holz als Roh- und Werkstoff**, [S.l.], v. 64, p. 445-450, 2006.

REINPRECHT, L.; KMET'OVÁ, L. Fungal resistance and physical–mechanical properties of beech plywood having durable veneers or fungicides in surfaces. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 72, p. 433-443, 2014.

SCHEFFER, T. C.; LINDGBEN, R. M. Stains of sapwood and sapwood products and their control. **United States Department of Agriculture**, Washington D.C., 1940. 124 p. Technical Bulletin N° 714.

SENSOGUT, C.; OZALP, M.; YESIL, H. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of plywood. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, [S.l.], v. 2, p. 589-592, 2009.

THENÉVON, M. F.; PIZZI, A.; HALUK, J. P. Non-toxic albumin and soja protein borates as around-contact wood preservatives. **Holz als Roh- und Werkstoff**, [S.l.], v. 55, p. 293-296, 1997.

THENÉVON, M. F.; TONDI, G.; PIZZI, A. Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin resin-boric acid for outdoors applications. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 12, n. 3, p. 253-257, 2010.

TONDI, G. et al. Efficacy of tannin in fixing boron in wood: fungal and termite resistance. **BioResources**, Raleigh, v. 7, n. 1, p. 1238-1252, 2012.

WANG, Q.; HENNINGSSON, B. A field test on susceptibility of wood: based board materials to moulds. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 1989. IRG/WP 89-3545.

WILLERDING, A. L.; VIANEZ, B. F. Utilização de bórax por difusão no tratamento de preservação de lâminas de sumaúma (*Ceiba pentantra* (L.) Gaertn.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 321-326, 2003.

WINANDY, J. E. Effects of treatment, incising, and drying on mechanical properties of timber. In: NATIONAL CONFERENCE ON WOOD TRANSPORTATION STRUCTURES, USDA, p. 178-185, 1996.

YALINKILIC, M. K. et al. Boron effect on decay resistance of some fire-retardant coatings applied on plywood surface. **Holz als Roh- und Werkstoff**, [S.l.], v. 56, p. 347-353, 1998.

YILDIZ, Ü C. et al. Biological performance of boron-based chemicals treated wood composites. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2009. IRG/WP 09-40464.

Capítulo 1 – Eficiência do tratamento de lâminas de *Pinus* sp. com compostos de boro na resistência de compensados à biodeterioração

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência do tratamento preservativo de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de compostos de boro na resistência à biodeterioração de painéis compensados causada por térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e fungos emboloradores. Os painéis foram produzidos com três lâminas tratadas pelo método de imersão simples durante 15 minutos e adesivo ureia-formaldeído, destinados a uso interno. O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial 3 x 3 + 1, sendo três compostos (ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax) e três concentrações (1%, 3% e 5%), mais um tratamento adicional (controle), em delineamento inteiramente casualizado. A retenção média (kg m^{-3}) dos compostos de boro nos compensados foi avaliada por metodologia específica e medida por espectrofotometria. Os ensaios de biodeterioração por térmitas de madeira seca foram conduzidos conforme o método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, ao passo que o ensaio de biodeterioração por fungos emboloradores foi realizado conforme normas da *American Society for Testing and Materials*, utilizando-se um fungo do gênero *Penicillium*, isolado de lâminas atacadas de *Pinus* sp. Para os diferentes compostos, o efeito da concentração na retenção foi positivo e a maior média foi das amostras tratadas com ácido bórico + bórax a 5% ($0,575 \text{ kg m}^{-3}$). Apesar das baixas retenções, os nove tratamentos testados foram eficientes contra o ataque de térmitas de madeira seca e fungos emboloradores. O tipo de composto não exerceu influência na taxa de mortalidade das térmitas, mas sim, o aumento da concentração. Não houve interação entre os compostos e as concentrações contra o ataque de fungos emboloradores, em que todas os tratamentos foram igualmente eficientes. O tratamento indicado para conferir aos painéis maior resistência à biodeterioração foi o com ácido bórico a 3%.

Palavras-chave: ácido bórico, bórax, retenção, *Cryptotermes brevis*, fungos emboloradores.

Chapter 1 - Influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with boron compounds on plywood's durability

ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with different solutions and concentrations of boron compounds on plywood's durability. It was developed in a factorial scheme $3 \times 3 + 1$, represented by three compounds (boric acid, borax and boric acid + borax) and three concentrations (1%, 3% and 5%), besides a control (untreated), in a completely randomized design. Plywood was produced with three veneers previously treated with the different boron solutions by simple immersion for 15 minutes, bonded with urea-formaldehyde and plywood was intended for interior use. Boron compounds retention in plywood was assessed by a specific method and measured using spectrophotometry. Dry-wood termites (*Cryptotermes brevis*) test was performed according to a procedure of the Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo and mold test was performed according to standards of the American Standard for Testing and Materials. A mold species (*Penicillium* sp.) was used, which was collected from an attacked veneer. To the different treatments, the effect of concentration on retention was positive and acid boric + borax (5%) got the highest average (0.575 kg m^{-3}). Despite the low retentions, all treatments were efficient against dry-wood termites and mold. The kind of compound is not as effective as the concentration regarding dry-wood termite's mortality. No interaction was noted between compounds and concentrations regarding mold attack, but all treatments were efficient. Acid boric (3%) is recommended for treating *Pinus* sp. veneers intended for good performance plywood regarding durability against dry-wood termites and mold.

Keywords: boric acid, borax, retention, *Cryptotermes brevis*, mold.

1 INTRODUÇÃO

De todas as variáveis presentes na produção de painéis à base de madeira, a espécie é a mais importante, pois é a que mais influencia nas propriedades do produto final (MALONEY, 1993). As espécies do gênero *Pinus*, por exemplo, têm sido utilizadas desde o início da década de 1990 pelas indústrias de compensados no Brasil, em razão da facilidade de laminação e de colagem, forma das toras, rápido crescimento e disponibilidade (ALMEIDA et al., 2012; MENDES et al., 2013).

Apesar das características favoráveis, a madeira do gênero *Pinus* é considerada de baixa resistência natural e, por isso, é necessária a aplicação de produtos preservativos quando se deseja aumentar a vida útil dos painéis (MENDES et al., 2013). Geralmente, tais preservativos são aplicados nos compensados por meio de vácuo-pressão ou por adição do produto na linha de cola.

No entanto, um dos problemas relacionados ao uso de produtos químicos na preservação de compósitos de madeira é a incompatibilidade de suas formulações com os adesivos industriais (LAHIRY, 2005). Os compostos de boro são os produtos preservativos mais investigados por apresentarem um amplo espectro de atividade contra fungos e térmitas e por afetar pouco as propriedades mecânicas da madeira (LEVAN; TRAN, 1990).

Apesar de seu amplo espectro de atividade contra organismos xilófagos, os compostos de boro são listados na *Australian Standard 1604-1 (2000)*⁸ apenas para aplicação em produtos de madeira utilizados em condições internas (COOKSON, 2004). Por serem pouco tóxicos aos seres humanos e demais mamíferos e pela reconhecida propriedade de resistência ao fogo, podem ser uma alternativa para a preservação de produtos derivados de madeira, como os compensados (YALINKILIC et al., 1999).

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência do tratamento de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de compostos de boro na resistência à biodeterioração de compensados causada por térmitas de madeira seca e fungos emboloradores.

⁸ AUSTRALIAN STANDARD 1604.1-2000. **Specification for preservative treatment.** Part 1: Sawn and round timber. Standards Australia, Sydney.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL DE ESTUDO E TRATAMENTO DAS LÂMINAS

As lâminas torneadas, de aproximadamente 1,5 mm de espessura, foram doadas pela empresa Compensados Galli Ltda., localizada no município de Imbituva, Paraná. Conforme informações da empresa, as lâminas foram secas artificialmente e, por terem permanecido expostas ao ar livre antes do tratamento preservativo, estavam abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF%).

Previamente, foram visualmente classificadas quanto a presença de nós e posteriormente tratadas em diferentes soluções de compostos de boro (Tabela 1), diluídos em 50 L de água, pelo método de imersão simples durante 15 minutos em um recipiente de polietileno de 250 L de capacidade. Após o tratamento preservativo, as lâminas foram secas ao sol e posteriormente acondicionadas de forma a proporcionar a secagem das mesmas ao ar, até umidade de equilíbrio.

Tabela 1. Descrição e formulação das soluções para tratamento das lâminas de *Pinus* sp.

Solução	Concentração (%)	Composto (g)	
		Ácido Bórico	Bórax
1	1	500	-
2	3	1.500	-
3	5	2.500	-
4	1	-	500
5	3	-	1.500
6	5	-	2.500
7*	1	197	503
8*	3	591	909
9*	5	984	1.516

*Solução de ácido bórico + bórax formulada na proporção de 1:1,54, considerando a relação entre bórax e equivalente de ácido bórico - EAB, ou seja, a relação massa de ácido bórico/massa de EAB ($381,37/247,33 = 1,54$).

A concentração das soluções foi estabelecida com base no estudo de Vianez (1993)⁹, citado por Willerding e Vianez (2003), os quais afirmam que em regiões tropicais o bórax deve ter uma concentração aplicável de até 5% da solução, pois

⁹ VIANEZ, B. F. **Aspects of boron diffusion through hardwoods**. University of Wales, 1993. 244 p.

acima desta ocorre a precipitação dos compostos de boro, havendo erros de concentração.

2.2 PRODUÇÃO DOS COMPENSADOS

Os compensados foram produzidos no Laboratório de Painéis do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, localizado em Jerônimo Monteiro – ES. Os mesmos foram prensados em prensa hidráulica e automática, da marca SOLAB® (modelo SL 12), dotada de dois pratos planos horizontais, ambos com aquecimento elétrico, com área útil de prensagem igual a 60 x 60 cm. Foram produzidos cinco painéis por tratamento conforme as variáveis apresentadas na Tabela 2, incluindo o tratamento controle, representado por lâminas não tratadas, o que resultou em um total de 50 painéis.

Tabela 2. Variáveis consideradas na produção dos painéis compensados

Variáveis	Quantidade
Números de lâminas por painel (un)	3
Número de linhas de cola (un)	2
Gramatura da linha de cola (g m ⁻²)	340
Tempo de espera (min)	10
Tempo de prensagem (min)	10
Temperatura de prensagem (°C)	140
Pressão (kgf cm ⁻²)	10

Considerando a aplicação dos compensados para uso interno, adotou-se o adesivo ureia-formaldeído, tendo como catalisador o sulfato de amônia [(NH₄)₂SO₄] a 24%, calculado a 2% do teor de sólidos do adesivo, e como extensor a farinha de trigo. A mistura de cola foi formulada na proporção de 100:40:40 (adesivo:extensor:água).

2.3 AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DOS COMPOSTOS DE BORO NOS COMPENSADOS

Para avaliar a retenção do elemento boro nos compensados, utilizaram-se quatro amostras por painel, obtidas de corpos de prova reutilizados dos ensaios mecânicos de flexão estática (capítulo 2), com aproximadamente 2 g. A determinação da quantidade de boro presente nas amostras foi determinada segundo metodologia

descrita por Wischer (1976)¹⁰, citada por Paes (1991), a qual possui as seguintes etapas: i) determinação do volume anidro das amostras (secas em estufa a 103 °C) por imersão em mercúrio; ii) incineração das amostras em mufla à temperatura de 500 – 550 °C até obtenção de cinzas brancas; iii) adição de 3 mL de solução composta da mistura concentrada dos ácidos sulfúrico, perclórico e nítrico, na proporção de 7:2:1, às cinzas e sais metálicos obtidos na incineração; iv) digestão acelerada das cinzas por aquecimento da mistura dos ácidos e cinzas em chapa aquecida, até que a mistura atinja coloração límpida; v) diluição da solução ácida resultante em água destilada a volumes fixos e; vi) leitura das soluções em espectrofotômetro.

Com base nos valores das leituras obtidas em espectrofotômetro e dos volumes determinados para cada amostra obteve-se a retenção média (kg m^{-3}) de boro para cada tratamento, conforme a Equação 1 (PAES, 1991).

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

Em que – R: retenção do elemento na madeira (kg m^{-3}); F: fator estequiométrico para transformação do elemento químico para óxido (boro $\times 6,44 = \text{B}_2\text{O}_3$); L: leitura obtida do espectrofotômetro de absorção atômica (mg L^{-1}); FD: fator de diluição (10 para as soluções a 1% de concentração, 20 para as de 3% e 40 para as soluções a 5% de concentração); V: volume das amostras de madeira utilizadas nas análises químicas (cm^3).

2.4 RESISTÊNCIA A TÉRMITAS DE MADEIRA SECA

A eficiência dos tratamentos na resistência dos painéis contra térmitas de madeira seca foi testada conforme o método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Divisão de Madeiras (IPT, 1980).

A amostragem consistiu de 10 repetições por tratamento, agrupadas duas a duas, totalizando cinco conjuntos. Cada conjunto foi exposto ao ataque de 40 térmitas (dois soldados e 38 operários), dispostos em uma manga de vidro sobre os corpos de prova com dimensões de 20 x 15 x 70 mm (largura x espessura x comprimento),

¹⁰ WISCHER, B. V. *Beitrag zur Verminderung einez moglichen Umweltbelastung bi der Salzimpragnierung von Kiefernmasten.Kiefernmasten*. Hamburg, 1976. 149p. (Thesis)

obtidos do reaproveitamento de corpos de prova utilizados em ensaios mecânicos de flexão estática (capítulo 2).

O ensaio foi conduzido em sala climatizada (27 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) durante 45 dias. Ao final, foram avaliadas a porcentagem de mortalidade, o desgaste e a perda de massa (%) causada nas amostras e o número de orifícios que ultrapassaram a amostra (IPT, 1980).

2.5 RESISTÊNCIA A FUNGO EMBOLORADOR (*Penicillium* sp.)

O ensaio de resistência dos compensados a fungos emboloradores foi conduzido segundo a norma da *American Society for Testing and Materials D-4445: Standard Test Method for Fungicides for Controlling Sapstain and Mold on Unseasoned Lumber* (ASTM, 2005). O fungo testado (*Penicillium* sp.) foi isolado das próprias lâminas de *Pinus* sp. emboloradas (isolamento indireto). Após o desenvolvimento dos fungos realizou-se o isolamento direto dos mesmos pela repicagem para novas placas de Petri.

A solução de esporos utilizada para inoculação nas amostras foi preparada com base na mistura do conteúdo de duas placas de Petri contendo meio de cultura preparado conforme ASTM D-1413 (2005), e o fungo desenvolvido em 300 mL de água destilada esterilizada. Para obter uma mistura homogênea, submeteu-se o material à agitação magnética (30 rpm) durante 40 minutos a temperatura ambiente. Inocularam-se aproximadamente 0,25 mL de suspensão de esporos, com auxílio de pipeta, ao longo de apenas uma das superfícies das amostras. Para manter os corpos de prova em condições de alta umidade ($\pm 70\%$) durante o período de teste e inoculação (quatro semanas), inseriram-se camadas de papel absorvente umedecidos com água destilada esterilizada no fundo das placas de Petri.

A amostragem consistiu em 10 repetições por tratamento, com dimensões de 20 x 70 mm (largura x comprimento) dispostos aos pares em placas de Petri, e foram obtidas de corpos de prova reutilizados de ensaios mecânicos de flexão estática (capítulo 2). Utilizaram-se lâminas de vidro como suporte para os corpos de prova, em adaptação à norma, no intuito de evitar o contato dos mesmos com o papel umedecido e favorecer melhores condições para o fluxo da umidade.

A avaliação do teste foi realizada com base na análise visual do crescimento dos fungos numa escala de 0 a 5, sendo cinco o maior crescimento. Posteriormente,

calculou-se o percentual de crescimento (Crescimento) ao considerar as médias das notas atribuídas para cada tratamento em relação ao controle (Equação 2) (ASTM, 2005).

$$\text{Crescimento} = \frac{\text{Média das notas do tratamento}}{\text{Média das notas do controle}} \times 100 \quad (2)$$

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi desenvolvido em delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 x 3 + 1 (composto x concentração, mais um tratamento adicional - controle), totalizando 10 tratamentos. Os dados foram analisados utilizando-se o *software Assistat* (versão 7.7) e submetidos a testes de pressuposições - teste de Cochran (1947) e Shapiro e Wilk (1965), para posteriormente serem analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) com o teste F em nível de significância de até 5% de probabilidade.

Para a avaliação da retenção dos compostos de boro nos compensados tratados, considerou-se apenas o esquema fatorial, excluindo-se o controle. Nas situações em que houve efeito significativo do fator composto, aplicou-se o teste de Tukey em nível de significância de 5% de probabilidade ($\alpha = 5\%$) para comparação das médias, ao passo que naqueles casos em que houve efeito significativo do fator concentração, aplicou-se a análise de regressão utilizando-se a técnica dos polinômios ortogonais com decomposição em efeitos lineares e quadráticos.

Para a avaliação dos ensaios de biodeterioração por térmitas de madeira seca (porcentagem de mortalidade, notas de desgaste e porcentagem de perda de massa) e fungos emboloradores (porcentagem de crescimento) foram realizadas as mesmas análises que as do ensaio de retenção. Contudo, adicionalmente, as médias de cada um dos tratamentos derivados da combinação composto x concentração foram comparadas com a média do tratamento controle, utilizando-se o teste de Dunnett ($\alpha = 5\%$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RETENÇÃO DOS COMPOSTOS DE BORO NOS COMPENSADOS

Conforme resultados da ANOVA (Apêndice 1, Tabela 1.1), a interação entre os fatores composto e concentração foi significativa ($F_c = 4,17^{**}$; $p < 0,01$) para a retenção dos nove tratamentos, demonstrando a dependência dos mesmos para esta variável. A comparação entre as médias de retenção de óxido de boro entre os diferentes compostos dentro de cada concentração pelo teste de Tukey está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Retenção média (kg m^{-3}) de óxido de boro (B_2O_3) em painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro*

Composto	Concentração (%)		
	1	3	5
Ácido Bórico	0,155 a	0,297 a	0,365 b
Bórax	0,103 a	0,266 a	0,415 b
Ácido Bórico + Bórax	0,130 a	0,297 a	0,575 a
Média Geral	0,129	0,287	0,452

*Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os compostos apenas nas soluções formuladas com a concentração de 5%, em que a maior média de retenção foi da solução ácido bórico + bórax, que foi 27% superior à média geral. As médias de retenção das soluções de ácido bórico e bórax não diferiram significativamente ($p > 0,05$) entre si.

Esse comportamento está de acordo com o apresentado na literatura, em que o DOT, obtido pela mistura dos compostos de ácido bórico e bórax, possui maior solubilidade quando comparado aos mesmos quando utilizados separadamente (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

Durante o preparo das soluções não se notou problemas de diluição dos compostos de boro, mesmo para as concentrações de 5%, conforme sugerido na literatura (COOKSON, 2004; VIANEZ¹¹, 1993 citado por WILLERDING; VIANEZ,

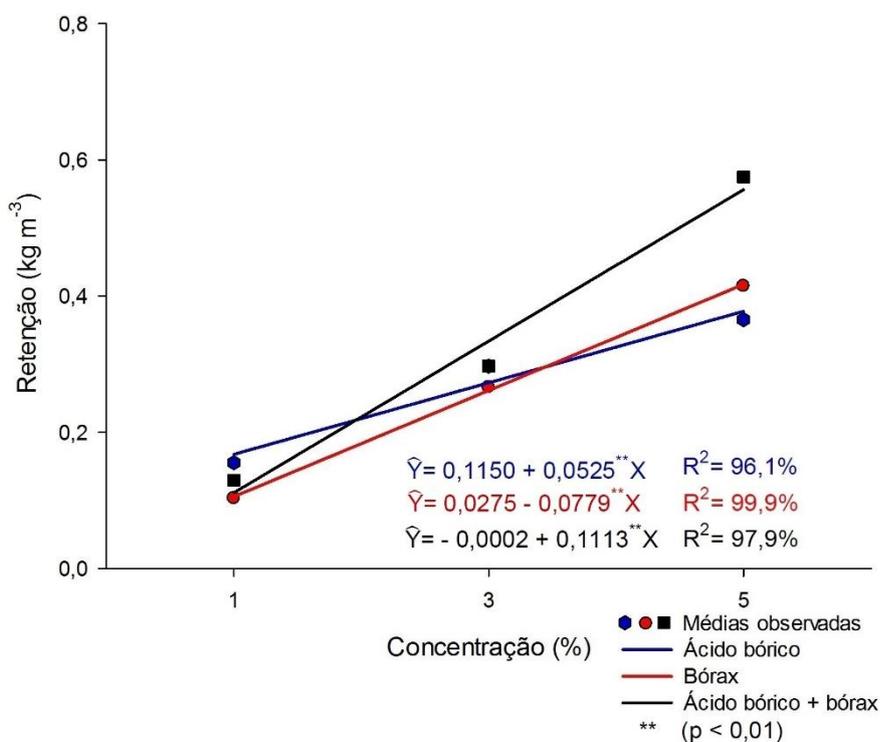
¹¹ VIANEZ, B. F. **Aspects of boron diffusion through hardwoods**. University of Wales, 1993. 244 p.

2003). As menores retenções das amostras tratadas com ácido bórico e bórax, na concentração de 5%, podem ser explicadas pela menor solubilidade dos mesmos em concentrações superiores a 4% e, conseqüentemente, menor difusão destes nas lâminas.

As diferentes médias de retenção (tratamento por imersão simples das lâminas) não se enquadraram nos níveis mínimos reportados por Freeman, McIntyre e Jackson (2009) e Jorge, Nunes e Botelho (2004), para a proteção contra o ataque de térmitas subterrâneas em *Pinus elliottii* (3,89 kg m⁻³). Isto deve-se ao fato do tratamento por imersão ser mais efetivo em peças de madeira recém-serradas, com alta umidade, facilitando o processo de difusão. Como as lâminas de madeira foram previamente secas ao tratamento preservativo, seu baixo teor de umidade pode ter dificultado a difusão dos compostos de boro.

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto foi realizado por meio da análise de regressão cuja a equação estimada está apresentada na Figura 1.

Figura 1. Efeito da concentração dos compostos de boro na retenção (kg m⁻³) de óxido de boro (B₂O₃)



Como esperado para todos os compostos de boro, houve relação positiva e linear entre concentração e retenção, em que todas as equações de regressão ajustadas foram significativas ($p < 0,01$), de acordo com o teste F (Apêndice 1, Tabela 1.1).

Para as soluções de ácido bórico e de bórax, maiores ganhos de retenção ocorreram com o aumento de suas concentrações de 1% para 3%, correspondendo a 91% e 158%, respectivamente. Diferentemente, para as soluções de ácido bórico + bórax, maiores ganhos de retenção ocorreram com o aumento da concentração de 3% para 5%, correspondendo a 94%.

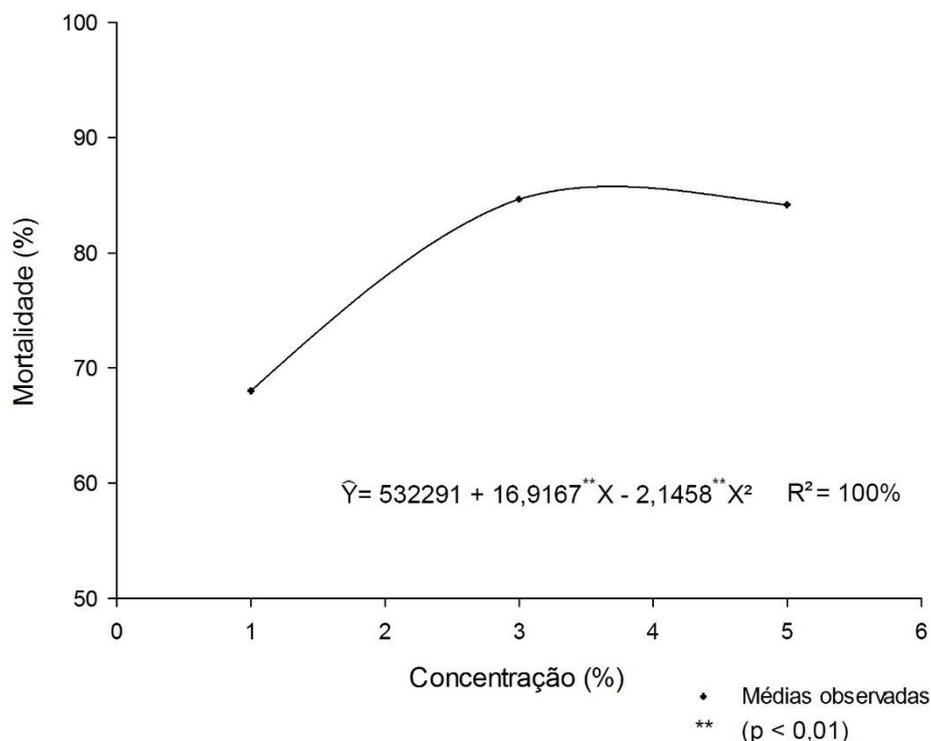
O efeito da concentração dos compostos de boro na retenção se relaciona com a solubilidade e difusão dos mesmos nas lâminas. Por sua vez, maiores retenções, obtidas com o aumento das concentrações dos compostos de boro, sugerem maior eficiência contra organismos xilófagos.

3.2 RESISTÊNCIA A TÉRMITAS DE MADEIRA SECA

3.2.1 Mortalidade das térmitas (%)

Conforme resultados da ANOVA (Apêndice 1, Tabela 1.2), a interação entre os fatores composto x concentração não foi significativa ($F_c = 0,85^{ns}$; $p > 0,05$) para a mortalidade das térmitas de madeira seca. O efeito do fator composto isoladamente também foi não significativo ($F_c = 0,52^{ns}$; $p > 0,05$), porém pela análise de regressão, ambos efeitos, linear e quadrático, foram significativos ($p < 0,01$). A equação de regressão ajustada está apresentada na Figura 2.

Figura 2. Efeito da concentração dos compostos de boro na mortalidade das térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)



Esses resultados estão em conformidade com a literatura, porque a eficácia de soluções de boro contra xilófagos depende unicamente da quantidade de boro aplicado na madeira, independentemente do composto utilizado como base (FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009). Houve tendência de aumento da mortalidade das térmitas de madeira seca com o aumento da concentração e posterior estabilização.

As médias de mortalidade foram iguais a 68,0%, 84,7% e 84,2%, respectivamente para as concentrações de 1%, 3% e 5%. Notou-se que o maior aumento da taxa de mortalidade em relação ao aumento da concentração dos compostos de boro ocorreu de 1% para 3% (16,7 pontos percentuais).

Avaliando-se isoladamente o efeito do fator concentração nas médias de retenção, houve relação entre o ganho em mortalidade com o de retenção ao se comparar as diferentes concentrações. Semelhantemente, o maior ganho em retenção (122%) ocorreu com o aumento da concentração de 1% para 3%.

Desse modo, visando a economia do processo e a eficácia contra as térmitas, sugere-se o uso de soluções formuladas na concentração de 3%, uma vez que o resultado desta concentração foi superior ao das demais.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 4), houve diferença significativa entre as médias de mortalidade das amostras tratadas contra o controle. Todos os tratamentos foram eficazes contra as térmitas de madeira seca, resultando em maior mortalidade quando comparados com o controle.

Tabela 4. Médias de mortalidade das térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Mortalidade (%)
Ácido bórico	1	64,5*
	3	82,5*
	5	85,5*
Bórax	1	74,5*
	3	85,0*
	5	83,0*
Ácido bórico + bórax	1	65,0*
	3	86,5*
	5	84,5*
Controle		43,0

* Diferem significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Nota-se a maior mortalidade absoluta para as térmitas expostas às amostras tratadas com ácido bórico + bórax na concentração de 3%, sendo esta duas vezes maior que a mortalidade das térmitas expostas às amostras controle. A menor mortalidade absoluta foi para térmitas expostas às amostras tratadas com ácido bórico na concentração de 1%, mas que mesmo assim ainda foi 1,5 vezes maior que a mortalidade do controle.

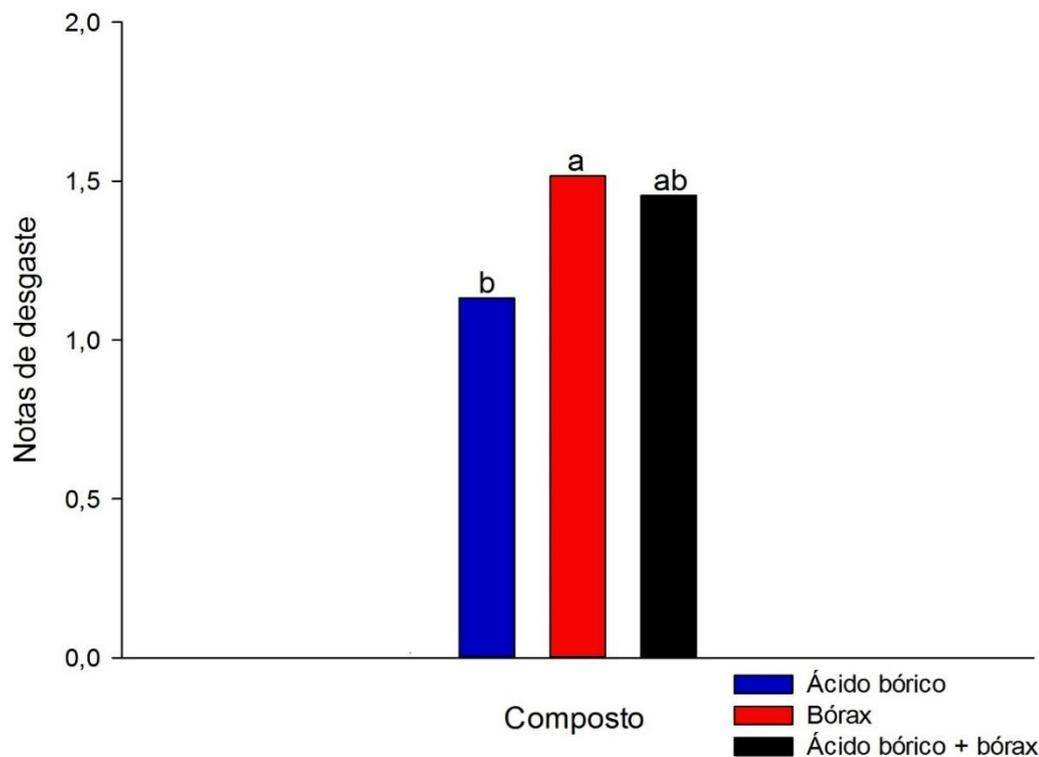
Considerando os resultados de mortalidade das diferentes soluções, sugere-se o uso de bórax na concentração de 3% para o tratamento de lâminas de *Pinus* sp. para a produção de compensados, visando o aumento da durabilidade dos mesmos contra térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*).

3.2.2 Notas de desgaste causado pelas térmitas

Para a avaliação das notas do desgaste provocado pelas térmitas, houve diferença significativa apenas entre os fatores composto ($F_c = 3,28^*$; $p < 0,05$) e concentração ($F_c = 9,85^{**}$; $p < 0,01$) avaliados isoladamente (Apêndice 1, Tabela 1.4), ou seja, não houve interação entre os fatores para esta variável ($F_c = 0,73^{ns}$; $p > 0,05$).

O estudo do efeito do fator composto nas notas de desgaste (Figura 3) indicou que houve diferença entre as médias dos diferentes compostos.

Figura 3. Médias das notas de desgaste causado pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)

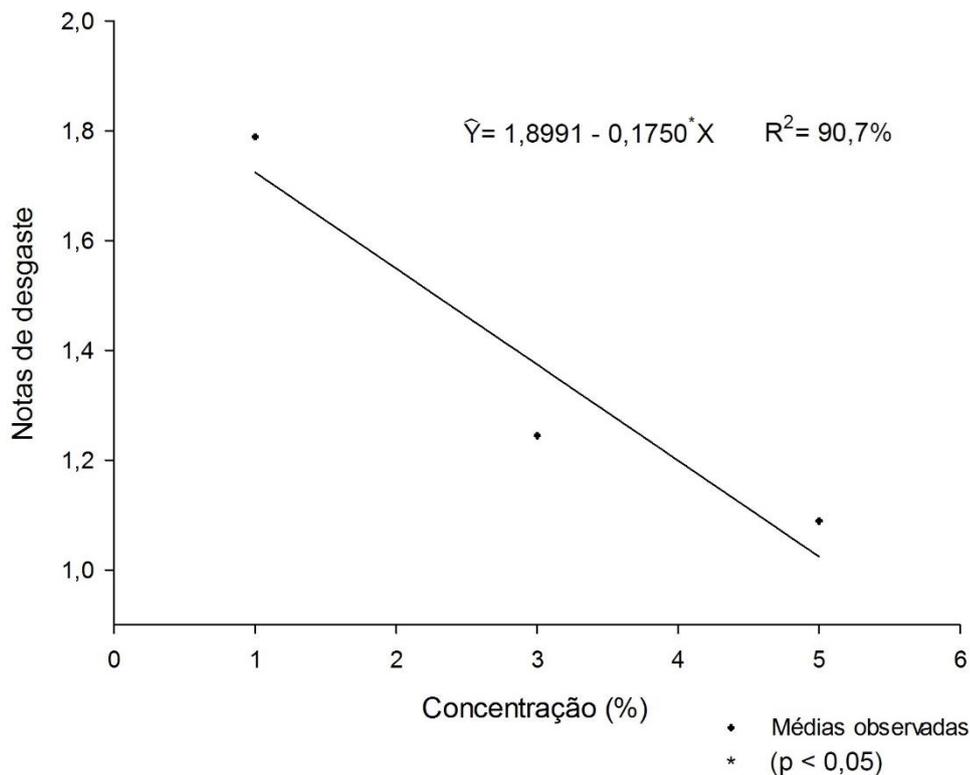


Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra entre barras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

No geral, as médias das notas de desgaste das amostras tratadas com os diferentes compostos foram menores que 2, o que as enquadra como desgaste moderado, segundo IPT (1980). A menor média absoluta foi das amostras tratadas com ácido bórico (1,13), que diferiram significativamente da média das tratadas com bórax, que apresentaram a maior média absoluta (1,53). Por ser preparado com a combinação dos demais compostos, as amostras tratadas com ácido bórico + bórax tiveram desgaste intermediário (1,45), não diferindo significativamente dos mesmos.

De um modo geral, os resultados do efeito do composto no desgaste indicaram a eficácia dos mesmos contra as térmitas de madeira seca. A menor média absoluta de desgaste das amostras tratadas com ácido bórico indicou maior eficácia deste composto em comparação aos demais. Para o estudo do efeito da concentração nas notas de desgaste (Figura 4) a equação ajustada foi significativa ($p < 0,05$).

Figura 4. Efeito da concentração dos compostos de boro no desgaste provocado pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)



Como esperado, ocorreu diminuição das notas de desgaste com o aumento da concentração dos compostos de boro na formulação das soluções. As notas das amostras tratadas com as diferentes soluções nas concentrações de 1%, 3% e 5% assumiram médias de 1,79, 1,24 e 1,09, respectivamente.

Pouco se sabe acerca da relação entre o comportamento alimentar de térmitas em exposição a madeiras tratadas com compostos de boro. De acordo com Campora e Grace (2007), a exposição de térmitas a estes compostos ocasiona uma resposta gradual de rejeição dos mesmos ao se alimentar da madeira tratada.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 5), as médias das notas de desgaste de todos os tratamentos diferiram do controle.

Tabela 5. Médias das notas de desgaste provocado pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e comparação entre as médias dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Notas de desgaste
Ácido bórico	1	1,60*
	3	0,87*
	5	0,93*
Bórax	1	2,03*
	3	1,52*
	5	1,05*
Ácido bórico + bórax	1	1,73*
	3	1,35*
	5	1,28*
Controle		3,02

* Diferem significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

A diferença entre todos os tratamentos e o controle indicou a eficiência dos compostos de boro contra o ataque das térmitas de madeira seca. Segundo o método utilizado (IPT, 1980), as médias de desgaste das amostras do controle foram classificadas como desgaste acentuado (nota 3).

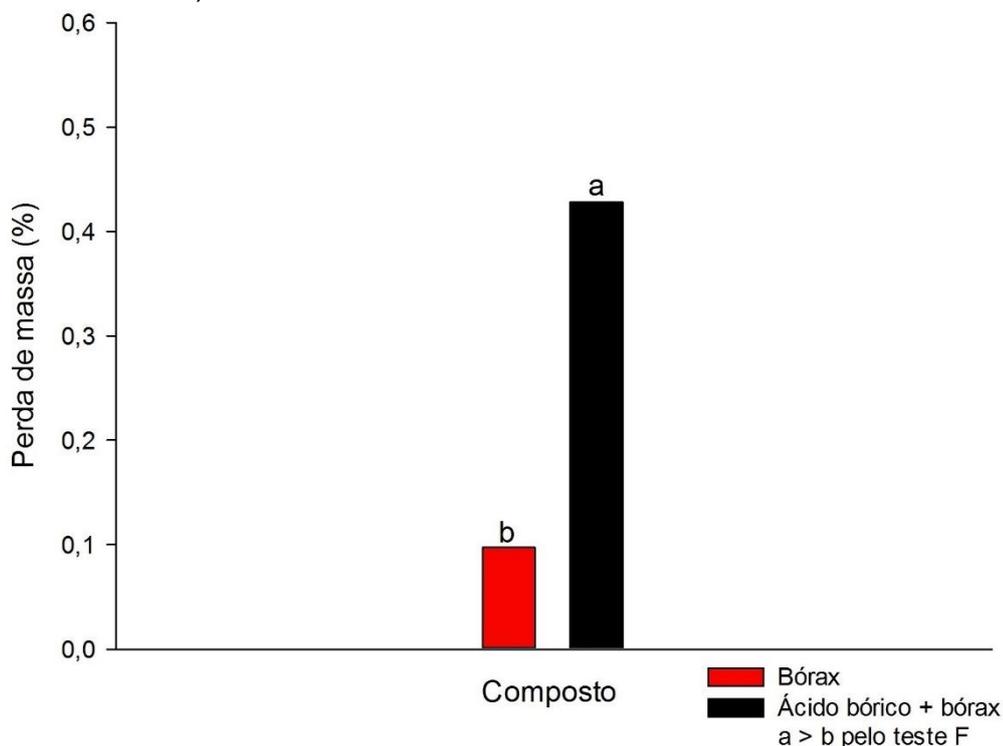
A menor média absoluta da nota de desgaste foi das amostras tratadas com ácido bórico a 3%, sendo 3,5 vezes menor que a média da nota do controle. Esse tratamento teve média menor que 1,0, sendo classificado como uma intensidade de desgaste superficial (IPT, 1980).

Em contrapartida, a maior média absoluta da nota de desgaste foi das amostras tratadas com bórax a 1%, mas mesmo assim, foi 1,5 vezes menor que a média do controle. Esse tratamento teve média pouco maior que 2,0, o que o enquadra como desgaste moderado (IPT, 1980).

3.2.3 Perda de massa dos painéis

Para a perda de massa, o resultado da ANOVA (Apêndice 1, Tabela 1.6) foi o mesmo das notas de desgaste, em que não houve interação significativa ($F_c = 0,43^{ns}$; $p > 0,05$) entre os fatores composto e concentração, mas os mesmos foram significativos isoladamente. Como as médias de perda de massa dos tratamentos com ácido bórico foram iguais a 0 (zero), considerou-se apenas os dois sais (bórax e ácido bórico + bórax) para a análise estatística dos dados. As médias de perda de massa para cada composto de boro encontram-se na Figura 5.

Figura 5. Médias de perda de massa causada pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)



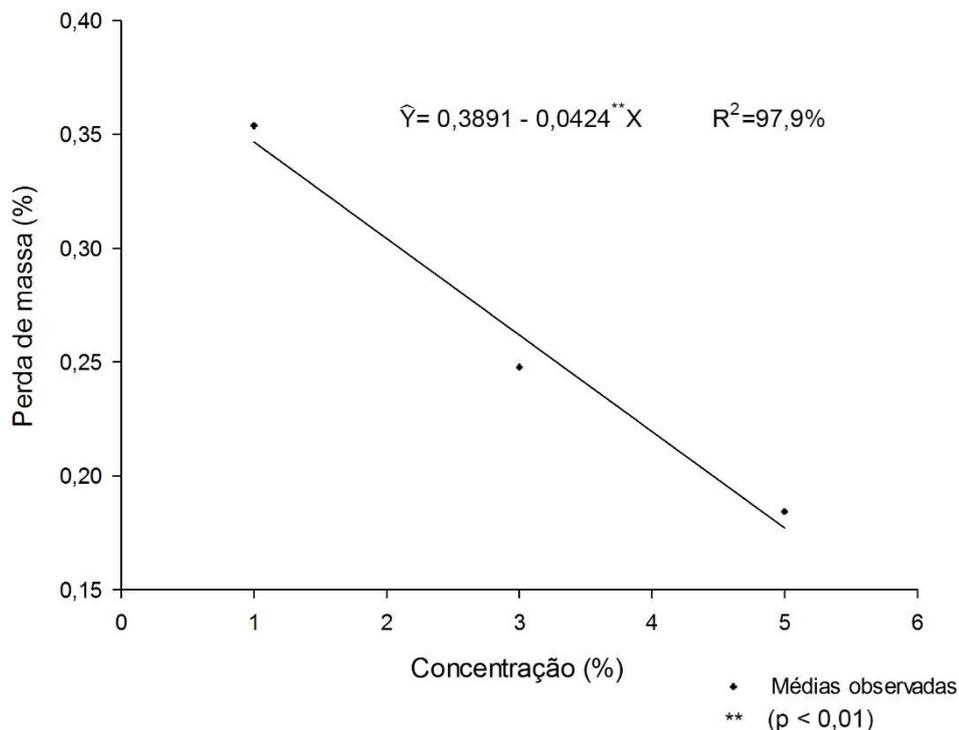
As médias de perda de massa foram muito baixas, inferiores a 0,5%, em que a maior média foi do ácido bórico + bórax (0,427%), seguida por bórax (0,096%).

Baixos valores de perda de massa para os painéis compensados podem se relacionar, além do tratamento preservativo, com o tipo de adesivo utilizado na produção dos mesmos, uma vez que não foram observados orifícios nas amostras. Ribeiro (2011), ao verificar a resistência de painéis aglomerados contra *Cryptotermes brevis*, relatou que o tipo de adesivo (ureia-formaldeído) evitou o ataque das térmitas.

Como o tipo de composto utilizado no tratamento preservativo não influenciou na sua eficácia contra as térmitas de madeira seca, quando avaliado isoladamente, este fator teve respostas antagônicas para as análises de retenção e perda de massa.

Na Figura 6 encontra-se a análise do efeito da concentração na perda de massa. Conforme o teste F, a equação de regressão ajustada foi significativa ($p < 0,01$).

Figura 6. Efeito da concentração dos compostos de boro na perda de massa causada pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)



Como esperado e em concordância com os resultados das notas de desgaste, houve relação inversa entre as medidas de concentração e perda de massa. A eficiência dos compostos de boro na preservação da madeira está intimamente relacionada com a quantidade de boro (concentração), independentemente do tipo de composto utilizado ((FREEMAN; MCINTYRE; JACKSON, 2009).

Houve maior ganho em eficiência com o aumento da concentração de 1% para 3% do que desta para 5%, corroborando com o apresentado em literatura, porque o maior ganho em retenção (quantidade de boro) ocorreu nessas condições.

Conforme o teste de Dunnett (Apêndice 1, Tabela 1.7), houve diferença significativa entre as médias de perda de massa das amostras tratadas de alguns tratamentos e do controle ($F_c = 11,87^{**}$, $p < 0,01$) e os resultados encontram-se apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Perda de massa provocada pelas térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)

Composto	Concentração (%)	Perda de massa (%)
Ácido bórico	1	0*
	3	0*
	5	0*
Bórax	1	0,19*
	3	0,04*
	5	0,06*
Ácido bórico + bórax	1	0,52 ^{ns}
	3	0,42 ^{ns}
	5	0,31*
Controle		0,73

* Diferem significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Apenas as médias das amostras tratadas com ácido bórico + bórax a 1% e 3% não diferiram significativamente do controle. Para as amostras tratadas com ácido bórico nas três concentrações não houve perda, apesar de terem sido atribuídas notas de desgaste para as amostras desses tratamentos.

A não conformidade entre os resultados de perda de massa e de notas de desgaste exprime a importância do conhecimento do avaliador, porque a avaliação do desgaste é subjetiva, ao contrário da perda de massa.

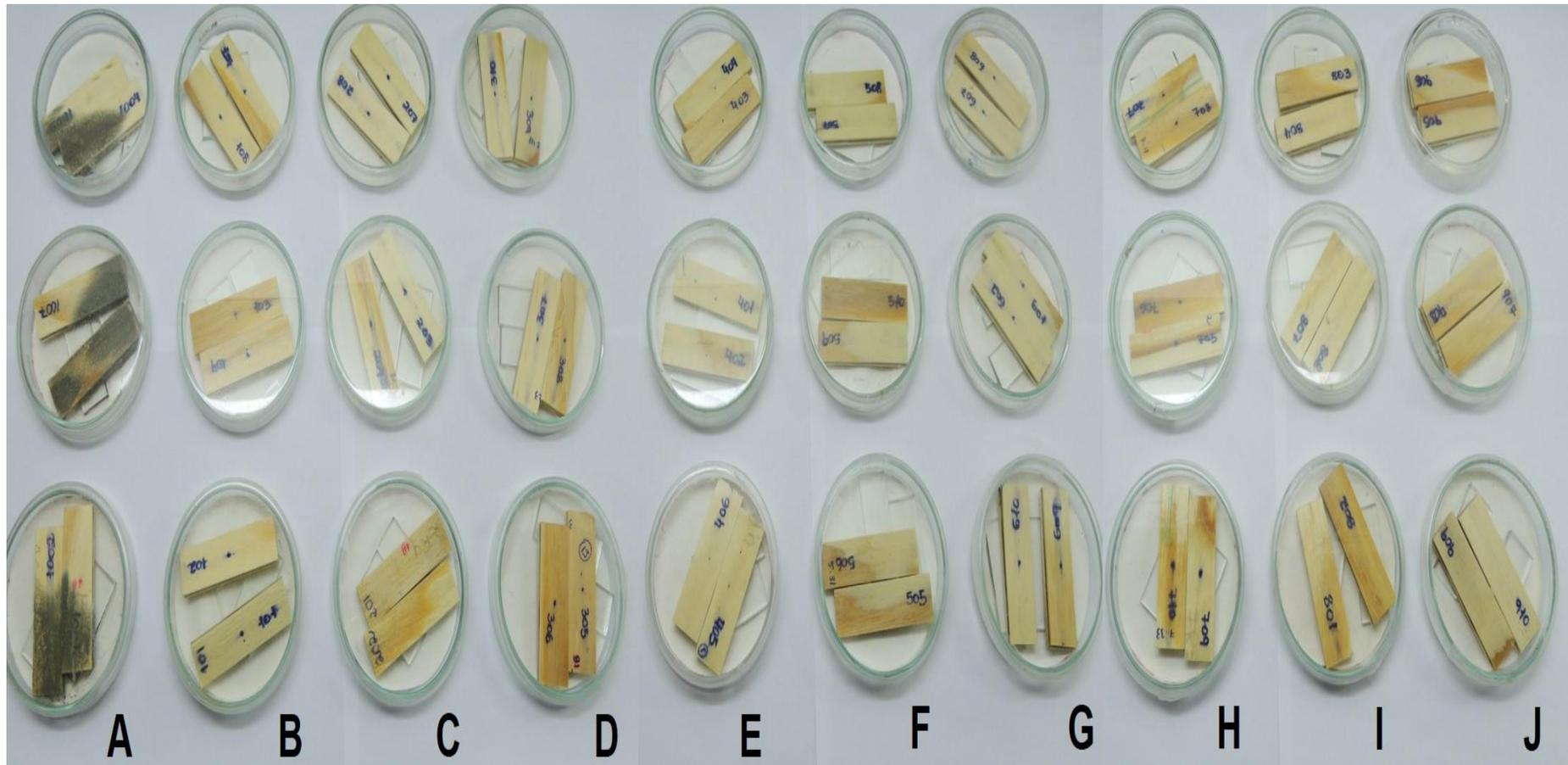
No entanto, relacionando-se os três parâmetros considerados para a avaliação do tratamento preservativo contra térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*), nota-se que os compostos de boro foram eficazes contra esses insetos.

3.3 RESISTÊNCIA A FUNGO EMBOLADOR (*Penicillium* sp.)

Conforme a ANOVA (Apêndice 1, Tabela 1.8), o efeito dos fatores composto ($F_c = 2,91^{ns}$; $p > 0,05$) e concentração ($F_c = 0,87^{ns}$; $p > 0,05$) isoladamente não foram significativos para a análise de crescimento dos fungos emboloradores. Por conseguinte, a interação entre os fatores também não foi significativa ($F_c = 1,01^{ns}$; $p > 0,05$).

Conforme apresentado na Figura 7, o tratamento preservativo foi eficiente contra o fungo embolorador (*Penicillium* sp.), uma vez que o desenvolvimento/crescimento ocorreu apenas nas amostras controle.

Figura 7. Amostras de painéis compensados produzidos com lâminas tratadas de *Pinus* sp. após quatro semanas de inoculação com fungo embolorador (*Penicillium* sp.) - controle (A); ácido bórico a 1% (B), a 3% (C) e a 5% (D); bórax a 1% (E), a 3% (F) e a 5% (G); ácido bórico + bórax a 1% (H), a 3% (I) e a 5% (J).



Como esperado, conforme o teste de Dunnett (Tabela 7), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre cada uma das médias das notas de crescimento das amostras tratadas e o controle.

Tabela 7. Médias das notas e do percentual de crescimento do fungo (*Penicillium* sp.) após quatro semanas de inoculação

Composto	Concentração (%)	Notas de crescimento	Percentual de crescimento (%)
Ácido bórico	1	0,22*	4,7
	3	0,14*	3,0
	5	0,18*	3,8
Bórax	1	0,86*	18,2
	3	0,36*	7,6
	5	0,30*	6,4
Ácido bórico + bórax	1	0,14*	3,0
	3	0,28*	6,0
	5	0,16*	3,4
Controle		4,72	100

* Diferem significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Os resultados do teste de Dunnett expressam o observado na Figura 7, em que a diferença de crescimento do fungo embolorador (*Penicillium* sp.) entre as amostras tratadas e o controle foi nítida. Apesar de não haver diferença significativa entre os compostos ($F_c = 2,91^{ns}$; $p > 0,05$), as maiores notas médias e, conseqüentemente, maiores percentuais médios de crescimento, foram das amostras tratadas com soluções de bórax nas três diferentes concentrações.

Em termos absolutos, apenas para o bórax, o aumento da concentração tendeu a diminuir o desenvolvimento do fungo. Quando utilizado isoladamente, este composto apresenta efetividade limitada contra fungos emboloradores, sendo mais efetivo em altas concentrações (MICALES-GLAESER; LLOYD; WOODS, 2004). Pouco tem sido relatado sobre a eficiência dos compostos de boro contra fungos emboloradores; não obstante, estes compostos são mais eficientes contra fungos (em geral) em meios com pH mais elevados (SCHEFFER; LINDGREN, 1940).

Por ser uma avaliação subjetiva, semelhantemente a avaliação das notas de desgaste (térmitas de madeira seca), e apesar de não haver desenvolvimento nítido dos fungos nas amostras tratadas (Figura 7), algumas delas receberam notas entre 1 e 2, demonstrando a importância do conhecimento do avaliador em relação à avaliação e que as análises são complementares.

4 CONCLUSÕES

- › Apesar das baixas retenções verificadas com o tratamento das lâminas por imersão simples, o tratamento preservativo com ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax nas concentrações de 1, 3% e 5% foram eficientes contra o ataque de térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e do fungo embolorador (*Penicillium sp.*).
- › Para a mortalidade, desgaste e perda de massa do ensaio de biodeterioração por térmitas de madeira seca, não houve interação significativa entre os fatores composto e concentração nos níveis testados.
- › O tipo de composto utilizado na formulação da solução preservativa não influenciou na mortalidade das térmitas de madeira seca.
- › Ao considerar as notas de desgaste e a perda de massa, soluções formuladas com ácido bórico foram mais eficientes contra as térmitas de madeira seca.
- › As amostras tratadas com soluções de ácido bórico + bórax a 1% e 3% não diferiram do tratamento controle para a comparação da perda de massa. No entanto, avaliando-se apenas um parâmetro não se pode afirmar a eficácia desses tratamentos contra as térmitas de madeira seca.
- › De modo geral, o aumento da concentração ocasionou maior mortalidade, diminuiu o desgaste e, conseqüentemente, proporcionou menores perdas de massa causadas pelo ataque de térmitas de madeira seca.
- › Não houve interação entre os compostos de boro e as concentrações contra o ataque do fungo embolorador (*Penicillium sp.*), em que todos os tratamentos testados foram eficientes.
- › O tratamento que se mostrou mais eficiente contra térmitas de madeira seca e o fungo embolorador (*Penicillium sp.*) foi aquele com a solução de ácido bórico a 3%.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. F. de et al. Avaliação da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de compensados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 435-443, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. West Conshohocken, 2005.

_____. **ASTM D-4445**: standard test method for fungicides for controlling sapstain and mold on unseasoned lumber (laboratory method). West Conshohocken, 2005.

CAMPORA, C. E.; GRACE, J. K. Foraging behavior of the *Formosan* subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to borate treated wood. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2007. (IRG/WP 07-10605).

COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Ann. Eug.**, Cambridge, v. 11, p. 47-51, 1947.

COOKSON, L. J. **Treatment methods for the protection of hardwood sapwood from lyctine borers**. Victoria: Forest and Wood Products Research and Development Corporation, 2004. 23p.

FREEMAN, M. H.; MCINTYRE, C. R.; JACKSON, D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. **AWPA**, Birmingham v. 105, p. 279-294, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DIMAD D – 2**: ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (fam. Kalotermitidae). São Paulo, 1980. (Publicação IPT 1157).

JORGE, F. C.; NUNES, L.; BOTELHO, C. Boron in wood preservation: problems, challenges and proposed solutions - an overview on recent research. **Journal from the Faculty of Science and Technology**, [S.l.], v. 1, p. 3-15, 2004.

LAHIRY, A. K. Non-pressure treatability of plywood by CCA, CCB and boron. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2005. IRG/WP 05-40295.

LEVAN, S. L.; TRAN, H. C. The role of boron in flame-retardant treatments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD PROTECTION WITH DIFFUSIBLE PRESERVATIVES, 1., 1990, Nashville, Tennessee. **Proceedings...** Forest Products Society, Madison, p. 39-41, 1990.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993 689p.

MENDES R. F. et al. Efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre as suas propriedades físico-mecânicas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 507-513, 2013.

MICALES-GLAESER, J. A.; LLOYD, J. D.; WOODS, T. L. Efficacy of didecyl dimethyl ammonium chloride (DDAC), disodium octaboratetetrahydrate (DOT), and chlorothalonil (CTL) against common mold fungi. **International Research Group on Wood Preservation**, Stockholm, 2004. IRG/WP 04-30338.

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

RIBEIRO, M. X. **Resistência de painéis aglomerados a cupins de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)**. 2011. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, [S.l.], v. 52, p. 591-611, 1965.

SCHEFFER, T. C.; LINDGBEN, R. M. Stains of sapwood and sapwood products and their control. **United States Department of Agriculture**, Washington D.C., 1940. 124 p. Technical Bulletin N° 714.

WILLERDING, A. L.; VIANEZ, B. F. Utilização de bórax por difusão no tratamento de preservação de lâminas de sumaúma (*Ceiba pentantra* (L.) Gaertn.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 321-326, 2003.

YALINKILIC, M. K. et al. In situ polymerization of vinyl monomers during compressive deformation of wood treated with boric acid to delay boron leaching. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 2, p. 43-51, 1999.

Capítulo 2 – Influência do tratamento de lâminas de *Pinus* sp. com compostos de boro nas propriedades físicas e mecânicas de compensados

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência do tratamento preservativo de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de compostos de boro nas propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados. Os painéis foram produzidos com três lâminas tratadas pelo método de imersão simples durante 15 minutos e adesivo ureia-formaldeído, destinados ao uso interno. Apenas os painéis do ensaio de cisalhamento na linha de cola foram produzidos com cinco lâminas. O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, sendo três compostos (ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax) e três concentrações (1%, 3% e 5%), mais um tratamento adicional (controle), em delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliadas algumas propriedades físicas (higroscopicidade, densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão) e mecânicas (flexão estática e resistência ao cisalhamento na linha de cola), todas conforme diretrizes do *European Committee for Standardization* (EN). Para enquadramento dos requisitos de qualidade dos painéis, os resultados foram comparados aos exigidos pelo EN e pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI). A densidade média dos painéis variou entre 0,463 e 0,553 g cm⁻³ e não foi afetada significativamente pelo tratamento preservativo, sendo influenciada principalmente pela matéria-prima, e o mesmo pode-se afirmar para a absorção de água e para o inchamento em espessura. De forma geral, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis atenderam aos requisitos de qualidade exigidos pelo EN e pela ABIMCI. Recomenda-se o uso de soluções formuladas em concentrações de até 1% ou de 3% apenas para o ácido bórico.

Palavras-chave: densidade aparente, inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática, cisalhamento na linha de cola.

Chapter 2 - Influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with boron compounds on plywood's physical and mechanical properties

ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the influence of the treatment of *Pinus* sp. veneers with different solutions and concentrations of boron compounds on plywood's physical and mechanical properties. It was developed in a factorial scheme 3 x 3 +1, represented by three compounds (boric acid, borax and boric acid + borax) and three concentrations (1%, 3% and 5%), besides a control (untreated), in a completely randomized design. Plywood was produced with three veneers, except the ones for glueline shear strength test that was produced with five veneers, previously treated with the different boron solutions by simple immersion for 15 minutes, bonded with urea-formaldehyde and being intended for interior use. Physical (hygroscopicity, apparent density, water absorption and swelling in thickness) and mechanical properties (static bending parallel and perpendicular to the fiber and glueline shear strength) were assessed, all according to the standards of the European Committee for Standardization (EN). For plywood quality classification, the performance was compared to the standards of EN and to the requirements of the Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI). Plywood's average density ranged from 0.463 and 0.553 g cm⁻³ and was mostly affected by the raw material than by the treatments. The same is true for water absorption and thickness swelling. In general, plywood quality regarding physical and mechanical properties attended to the requirements of EN and ABIMCI. Acid boric (3%) is recommended for treating *Pinus* sp. veneers intended for good performance plywood regarding physical and mechanical properties. Borax and acid boric + borax are recommended only for 1% concentration.

Keywords: apparent density; thickness swelling; water absorption; static bending; glueline shear strength.

1 INTRODUÇÃO

As propriedades físicas e mecânicas de produtos à base de madeira, como os compensados, estão intimamente relacionadas à espécie florestal e ao material genético que compõem a estrutura do painel. De um modo geral, apesar de sua baixa durabilidade, as madeiras de coníferas apresentam mais facilidade de colagem do que as folhosas, sendo favorecidas pela sua estrutura celular, determinada pelas dimensões, disposição e frequência das cavidades celulares que interferem na porosidade e permeabilidade, as quais têm um nítido efeito nas ligações adesivas (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005; IWAKIRI, 2005).

Os painéis compensados são considerados um material multiuso, capaz de ser projetado e desenvolvido tanto para uso estrutural quanto decorativo (MOEZZIPOUR et al., 2013). No entanto, quando produzidos com lâminas de madeiras menos duráveis, como as do gênero *Pinus* spp., há a necessidade da incorporação de produtos preservativos em sua constituição visando garantir maior durabilidade aos painéis.

Tais produtos podem ser introduzidos nos painéis por diferentes métodos, como a imersão, adição na linha de cola, aspersão, aplicação de vácuo-pressão, dentre outros. Ao se utilizar produtos preservativos para a proteção da madeira e de seus derivados, é desejável que os mesmos não prejudiquem suas propriedades físico-mecânicas e, conseqüentemente, a qualidade do material (LEBOW, 2010).

Os compostos de boro são utilizados como produtos preservativos na Austrália e Nova Zelândia desde a década de 1930 e, em razão da sua alta difusibilidade, são aplicados na madeira por meio de métodos simples, como a imersão. Esse método de impregnação possibilita a difusão do produto preservativo na madeira sem prejudicar suas propriedades físicas e mecânicas.

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência do tratamento preservativo de lâminas de *Pinus* sp. com diferentes soluções e concentrações de compostos de boro nas propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL DE ESTUDO

Foram utilizados painéis compensados produzidos no Laboratório de Painéis, no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, localizado em Jerônimo Monteiro – ES, de lâminas de madeira de *Pinus* sp., doadas pela empresa Compensados Galli Ltda. (Imbituva - PR). As lâminas foram tratadas com diferentes soluções (ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax) e concentrações de compostos de boro (1%, 3% e 5%). Para a formulação das soluções da mistura dos compostos de boro, adotou-se a proporção de 1:1,54 (ácido bórico:bórax) considerando a relação de equivalente de ácido bórico no bórax.

Os painéis foram produzidos com três lâminas, gramatura simples de 340 g m⁻², prensados em prensa hidráulica da marca SOLAB® (modelo SL 12) a 120 °C e 10 kgf cm⁻². Considerando a aplicação dos compensados para uso interno, usou-se o adesivo ureia-formaldeído na formulação da cola (proporção de 100:40:40 - adesivo:extensor:água) tendo como catalisador o sulfato de amônia [(NH₄)₂SO₄] a 24%, calculado a 2% do teor de sólidos, e farinha de trigo como extensor.

2.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS COMPENSADOS

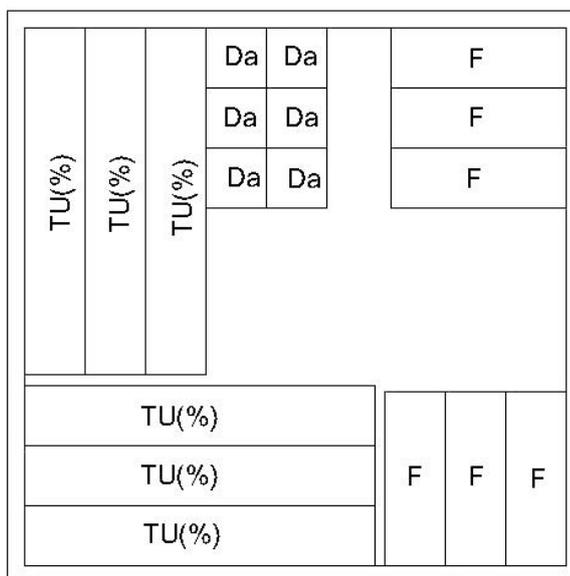
Previamente à realização dos ensaios, os painéis foram acondicionados em câmara climática a 25 °C e 65% de umidade relativa, correspondente a cerca 12% de umidade de equilíbrio.

A amostragem dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos procurou atender aos requisitos previstos na norma europeia EN 326-1: *wood-based panels - sampling, cutting and inspection* (1994), a qual determina o número mínimo de amostras por painel. Por ser idealizada para avaliações de lotes produzidos em escala industrial, algumas exigências da norma foram adaptadas para atender a quantidade (cinco por tratamento) e as dimensões dos painéis (450 x 450 mm), sem prejudicar a amostragem.

Para alguns testes, houve o descarte de corpos de prova com algum tipo de defeito (nós e rachaduras, por exemplo), resultando em menor quantidade de corpos de prova amostrados por painel que a preconizada na norma. No entanto, a amostragem total por tratamento buscou atender os requisitos estatísticos.

Na Figura 1 encontra-se o *layout* de obtenção dos corpos de prova dos painéis previamente climatizados. Os corpos de prova para determinação da resistência ao cisalhamento na linha de cola foram obtidos de painéis produzidos posteriormente, compostos de cinco lâminas, porque os inicialmente preparados não romperam por cisalhamento.

Figura 1. Esquema de amostragem dos corpos de prova nos painéis compensados para determinação das propriedades físicas e mecânicas



Em que – TU: teor de umidade (%); Da: densidade aparente (g cm^{-3}); F: flexão estática - módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) (MPa)

2.2.1 Teor de umidade

O teor de umidade dos painéis foi determinado de acordo com a norma europeia EN 322: *wood-based panels - determination of moisture content* (1993), conforme a Equação 1. A amostragem para determinação do teor de umidade dos painéis consistiu em 20 corpos de prova por tratamento, com dimensões de 50 x 150 mm (largura x comprimento). Considerou-se o teor de umidade dos corpos de prova em condições de climatização (25 °C e 65% de umidade relativa), o que corresponde a 11,8% de umidade de equilíbrio.

$$TU = \left(\frac{M_1 - M_0}{M_0} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que – TU: teor de umidade (%); M₁: massa climatizada (g); M₀: massa anidra (g).

2.2.2 Densidade aparente

A densidade aparente (D_a) dos painéis foi determinada segundo a normativa europeia EN 323: *wood-based panels* (1993), utilizando-se corpos de prova de dimensões iguais a 50 mm x 50 mm (largura x comprimento). Foram medidas a massa, com balança digital (0,0001 g), e as dimensões dos corpos de prova, com o auxílio de paquímetro digital (0,01 mm) e micrômetro (0,0001 mm). A amostragem consistiu em 20 corpos de prova por tratamento e a densidade aparente foi calculada conforme a Equação 2.

$$D_a = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Em que – D_a: densidade aparente (g cm⁻³); M: massa climatizada (g); V: volume climatizado (cm³).

2.2.3 Absorção de água e inchamento em espessura

O comportamento das mudanças de dimensões dos painéis foi avaliado segundo norma europeia EN 317: *particleboards and fibreboards - determination of swelling in thickness after immersion in water* (1993), baseando-se em trabalhos de Abdul Khalil et al. (2010) e Dieste et al. (2008).

Para este ensaio foram utilizados 15 corpos de prova por tratamento, remanescentes do ensaio de densidade aparente. Além da massa e das dimensões climatizadas, essas também foram medidas após 2h e 24h de imersão em água destilada. A porcentagem de absorção de água (AA) e de inchamento em espessura (IE) foram calculadas segundo as Equações 3 e 4, respectivamente.

$$AA = \left(\frac{M_F - M_I}{M_I} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$IE = \left(\frac{E_F - E_I}{E_I} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Em que – AA: absorção de água após 2h ou 24h (%); M_F: massa da amostra após imersão em água durante 2h ou 24h (g); M_I: massa da amostra em condição de

climatização (g); IE: inchamento em espessura após 2h ou 24h (%); E_F : espessura do centro da amostra após imersão em água durante 2h ou 24h (mm); E_i : espessura do centro da amostra em condição de climatização (mm).

2.2.4 Resistência à flexão estática

Os ensaios de resistência à flexão estática (módulo de ruptura - MOR e módulo de elasticidade - MOE) foram realizados conforme a norma europeia EN 310: *wood-based panels - determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength* (1993).

A amostragem consistiu em dois corpos de prova por direção (paralela e perpendicular às fibras das lâminas da face) por painel, totalizando dez corpos de prova por direção e por tratamento, com dimensões de 50 x 150 mm (largura x comprimento). Adotou-se, como variáveis para o ensaio, a velocidade de avanço de 3 mm min⁻¹ e a distância entre apoios de 125 mm. Os corpos de prova foram ensaiados em máquina universal de ensaio da marca EMIC (modelo DL 10000 N/S 8622).

Após a realização dos ensaios, analisou-se o teor de umidade dos mesmos, para correção de MOR e MOE (Equação 5), obtidos no momento do ensaio, considerando a umidade de equilíbrio de 12%, conforme NBR 7190: Projetos e estruturas de madeira (ABNT, 1997).

$$F_{12} = F_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (5)$$

Em que – F_{12} : valor médio do módulo de ruptura ou elasticidade a 12% de umidade (MPa); $F_{U\%}$: valor médio do módulo de ruptura ou elasticidade no teor de umidade do ensaio (MPa); $U\%$: umidade média dos corpos de prova no momento do ensaio (%).

2.2.5 Resistência ao cisalhamento na linha de cola

Os ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola foram realizados em conformidade com a norma europeia EN 314: *plywood - bond quality - part 1: test methods* (2006) e *part 2: requirements* (1993) por esforço de tração. Para tanto, foram produzidos novos painéis (quatro por tratamento), compostos por cinco lâminas, adotando-se as mesmas variáveis de produção dos painéis anteriores.

A amostragem consistiu em 12 corpos de prova por tratamento (três por painel), os quais foram submetidos a um pré-tratamento de imersão em água destilada por

24h. Os ensaios foram realizados na mesma máquina universal de ensaio, adotando-se para o ensaio a velocidade de 4 mm min^{-1} .

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi desenvolvido em delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial $3 \times 3 + 1$ (composto x concentração, mais um tratamento adicional - controle), totalizando 10 tratamentos. Os dados foram analisados utilizando-se o *software Assistat* (versão 7.7) e submetidos a testes de pressuposições - teste de Cochran (1947) e Shapiro e Wilk (1965), para posteriormente serem analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) com teste F ao nível de significância de até 5% de probabilidade.

Para a avaliação dos ensaios físicos e mecânicos, nos casos em que houve efeito significativo do fator composto, aplicou-se o teste de Tukey em nível de significância de 5% de probabilidade ($\alpha = 5\%$) para comparação das médias, ao passo que naqueles casos em que houve efeito significativo do fator concentração, aplicou-se a análise de regressão utilizando-se a técnica dos polinômios ortogonais com decomposição em efeitos lineares e quadráticos. Para a comparação das médias de cada um dos tratamentos derivados da combinação composto x concentração com a média do tratamento controle, aplicou-se o teste de Dunnett ($\alpha = 5\%$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEOR DE UMIDADE

Conforme resultados da ANOVA (Apêndice 2, Tabela 2.1) a interação entre os fatores composto e concentração foi significativa ($F_c = 5,88^{**}$; $p < 0,01$) para o teor de umidade dos tratamentos, demonstrando a dependência dos mesmos para esta variável.

Na comparação entre as médias do teor de umidade entre os diferentes compostos pelo teste de Tukey (Tabela 1), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os mesmos apenas nas concentrações de 3% e 5%.

Tabela 1. Teor de umidade médio (%) dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)		
	1	3	5
Ácido Bórico	9,77 a	10,55 a	10,30 b
Bórax	9,80 a	10,09 b	10,34 b
Ácido Bórico + Bórax	9,93 a	10,53 a	10,67 a
Média Geral	9,83	10,39	10,47

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

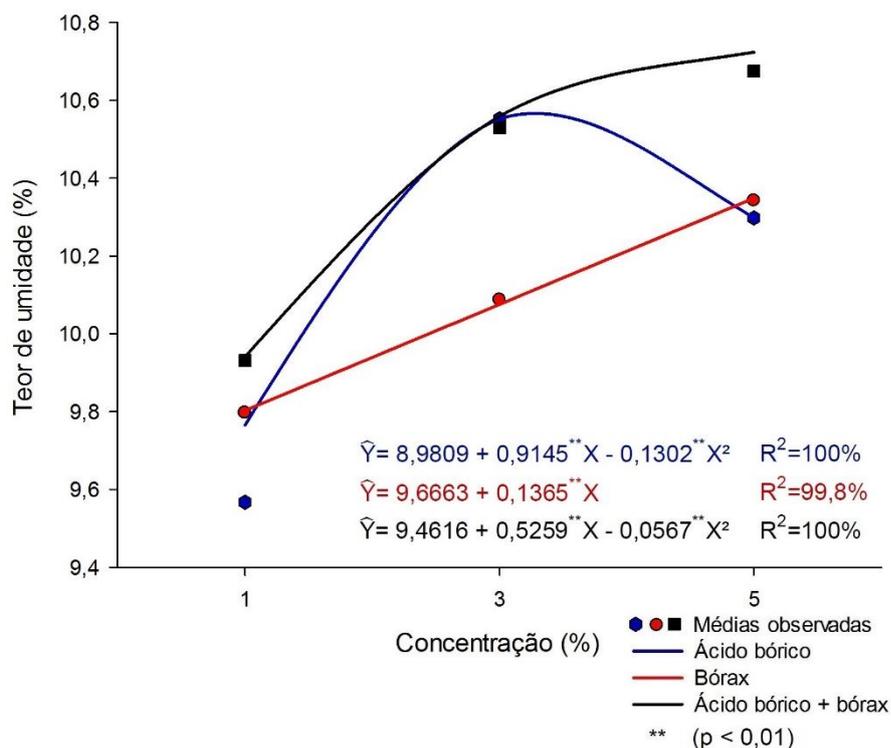
As médias de teor de umidade das amostras variaram entre 9,77% e 10,67%, ou seja, em uma amplitude de 0,90 pontos percentuais (p.p.). Apesar das pequenas variações do teor de umidade dos diferentes tratamentos, o menor teor de umidade médio foi das amostras tratadas com a solução de bórax a 3%, apenas 0,30 p.p. inferior à média geral. Na concentração de 5%, a solução que se diferenciou das demais foi a de ácido bórico + bórax, superior à média geral em 0,20 p.p.

Apesar de estatisticamente essas variações serem significativas, tecnicamente, as mesmas são negligenciáveis e podem ser consideradas influência do material e não do tratamento preservativo ao qual as lâminas foram submetidas.

Pouco tem sido relatado na literatura sobre a influência dos compostos de boro na higroscopicidade da madeira; contudo, é conhecido que eles são considerados higroscópicos e, por isso, possuem boa solubilidade em água e são facilmente lixiviáveis (JORGE; NUNES; BOTELHO, 2004).

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto no teor de umidade, por meio das equações ajustadas, indicou diferentes tendências entre os compostos (Figura 2).

Figura 2. Efeito da concentração dos compostos de boro no teor de umidade (%)



No entanto, para todos compostos, o maior aumento em teor de umidade foi da concentração 1% para a 3%, correspondendo a 0,78 p.p., 0,29 p.p. e 0,60 p.p. para as amostras tratadas com soluções de ácido bórico, bórax e ácido bórico + bórax, respectivamente.

Entre as concentrações de 3% para 5%, houve tendência de redução do teor de umidade (-0,25 p.p.) apenas nas amostras tratadas com ácido bórico, ao passo que houve aumento de 0,25 p.p. para as amostras tratadas com ácido bórico e bórax, e de 0,14 p.p. para as amostras tratadas com ácido bórico + bórax.

Conforme o teste F (Apêndice 2, Tabela 2.2), houve diferença significativa entre as médias de teor de umidade das amostras tratadas e o controle ($F_c = 35,53^{**}$; $p < 0,01$). Apenas a média das amostras tratadas com ácido bórico a 1% não diferiu significativamente ($p > 0,05$) do controle (Tabela 2), expressando a influência do tratamento preservativo nesta variável.

Tabela 2. Médias de teor de umidade (%) dos painéis compensados e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Teor de umidade (%)
Ácido Bórico	1	9,77 ^{ns}
	3	10,55*
	5	10,30*
Bórax	1	9,80*
	3	10,09*
	5	10,34*
Ácido Bórico + Bórax	1	9,93*
	3	10,53*
	5	10,67*
Controle		9,53

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

No geral, o tratamento preservativo aumentou o teor de umidade dos painéis em comparação com o controle, o que significa que os mesmos ficaram mais higroscópicos. O teor de umidade médio das amostras tratadas variou entre 9,77% (ácido bórico a 1%) e 10,67% (ácido bórico + bórax a 5%), significando que a menor e a maior variação entre as médias do teor de umidade dos tratamentos e do controle correspondeu a 0,24 e 1,14 p.p., respectivamente.

Apesar de o tratamento preservativo com compostos de boro ter influenciado no teor de umidade, os resultados verificados ainda os enquadra como “aprovados”, conforme o estabelecido pelo Catálogo Técnico de Compensados de *Pinus* (ABIMCI, 2007), que especifica o teor de umidade mínimo (9%), médio (10%) e máximo (12%) dos compensados.

É recomendável um estudo sobre a influência dos compostos de boro no teor de umidade da madeira e derivados, porque presume-se que este efeito esteja relacionado com as características químicas e físicas dos compostos, considerando suas reações com a madeira.

3.2 DENSIDADE APARENTE

Conforme resultados da ANOVA (Apêndice 2, Tabela 2.3) a interação entre os fatores composto e concentração foi significativa ($F_c = 4,96^{**}$; $p < 0,05$) para a densidade aparente, demonstrando a dependência dos mesmos para esta variável. Na Tabela 3 encontra-se a comparação entre as médias de densidade aparente dos diferentes compostos pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Médias de densidade aparente (g cm^{-3}) dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)		
	1	3	5
Ácido Bórico	0,492 a	0,463 b	0,515 a
Bórax	0,527 a	0,519 a	0,521 a
Ácido Bórico + Bórax	0,495 a	0,553 a	0,486 a
Média Geral	0,505	0,512	0,507

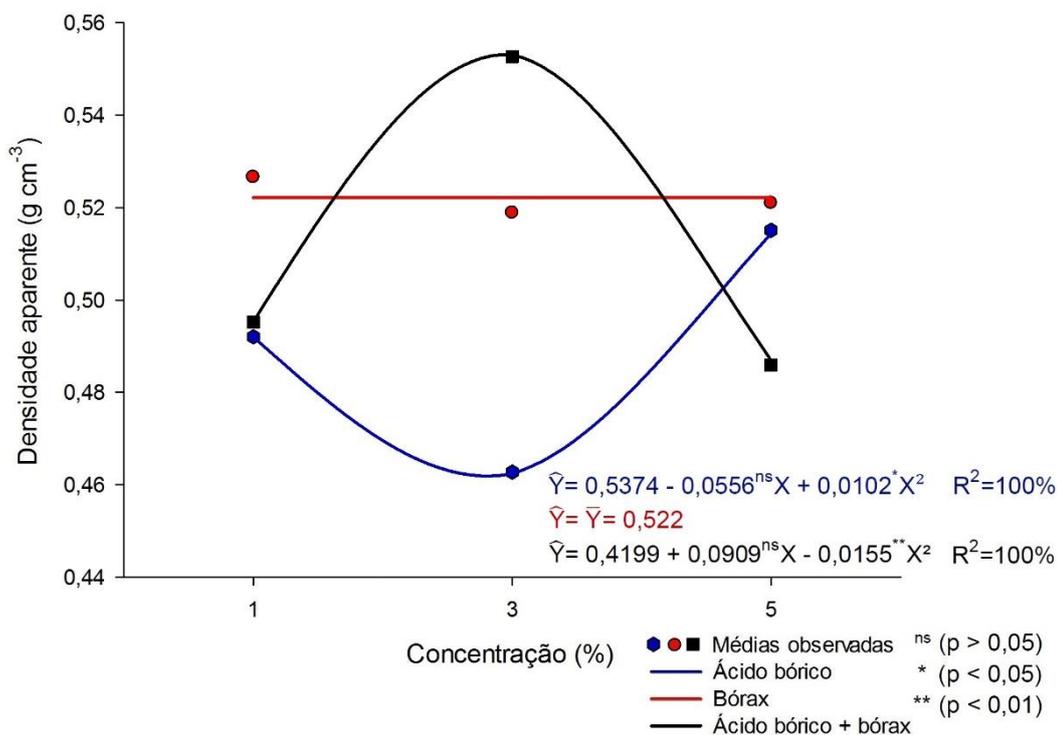
Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas entre as médias dos compostos na concentração de 3%, em que a menor média de densidade aparente foi das amostras tratadas com ácido bórico, que foi quase 10% inferior à média geral. A não diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias de densidade aparente dos compostos nas diferentes concentrações sugere que a resposta da análise estatística tenha sido influenciada pela heterogeneidade da matéria-prima utilizada, o que significa que este fator deve ser mais significativo que os tratamentos

Segundo Smallwood et al. (2001), a massa específica do ácido bórico e do bórax a 20 °C correspondem a 1,51 e 1,73, respectivamente. Desse modo, pela pouca diferença entre as massas específicas, presume-se que a influência do tratamento preservativo na densidade dos painéis ocorra, majoritariamente, com base na concentração das soluções do que no tipo de composto utilizado na formulação das mesmas.

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto na densidade aparente foi realizado por meio da análise de regressão, cujas equações ajustadas estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro na densidade aparente (g cm^{-3})



O aumento da concentração de ácido bórico de 1% para 3% tendeu a diminuir a densidade média dos painéis compensados em aproximadamente 6%. Após este nível de concentração, a densidade aparente das amostras tendeu a aumentar em 11% de 3% para 5% de concentração.

Para as amostras tratadas com soluções de bórax, o aumento da concentração não exerceu efeito na densidade aparente dos painéis compensados. As médias das amostras tratadas com essa solução nas diferentes concentrações foram próximas à média geral, de $0,522 \text{ g cm}^{-3}$.

Diferente do efeito do ácido bórico, o aumento da concentração das soluções de ácido bórico + bórax de 1% para 3% proporcionou o aumento da densidade aparente dos painéis compensados em cerca de 12%, ao passo que de 3% para 5% de concentração a densidade foi diminuída, também em 12%

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 4), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre pelo menos uma das médias de densidade aparente das amostras tratadas e o controle.

Tabela 4. Médias de densidade aparente (g cm^{-3}) dos painéis compensados e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Densidade aparente (g.cm^{-3})
Ácido Bórico	1	0,492 ^{ns}
	3	0,463 ^{ns}
	5	0,515 ^{ns}
Bórax	1	0,527*
	3	0,519 ^{ns}
	5	0,521 ^{ns}
Ácido Bórico + Bórax	1	0,495 ^{ns}
	3	0,553*
	5	0,486 ^{ns}
Controle		0,470

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Tal diferença significativa ocorreu para as médias das amostras tratadas com a solução de bórax a 1% e com a solução composta de ácido bórico + bórax a 3%.

Em comparação à densidade média do controle, as amostras tratadas com as soluções de bórax a 1% e com ácido bórico + bórax a 3% foram superiores em 10% e 15%, respectivamente.

Analisando-se conjuntamente os resultados dos diferentes tratamentos com os resultados das análises estatísticas (ANOVA, teste de Tukey e teste de Dunnett), presume-se que o tratamento preservativo não influenciou significativamente na densidade aparente. Destaca-se que a diferença foi pequena entre a maior (ácido bórico + bórax a 3%) e a menor (ácido bórico a 3%) média, de apenas $0,090 \text{ g cm}^{-3}$.

Da mesma forma que o teor de umidade, supõe-se que o efeito da matéria-prima na densidade aparente seja maior que o efeito dos tratamentos.

Apesar de não apresentar especificações para painéis produzidos com três lâminas, todos os tratamentos enquadraram-se no estabelecido pela ABIMCI em seu catálogo técnico (ABIMCI, 2007), exceto o ácido bórico a 3%. Para compensados de cinco e sete lâminas, as densidades mínimas e máximas exigidas variam de $0,476$ a $0,496 \text{ g cm}^{-3}$ e de $0,620$ a $0,641 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente.

3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Conforme resultados da ANOVA para a absorção de água após 2h (Apêndice 2, Tabela 2.5) e 24h (Apêndice 2, Tabela 2.7), houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os fatores composto e concentração para ambos os testes (AA 2h e AA 24h).

Na comparação entre as médias de absorção de água após 2h (AA 2h) e 24h (AA 24h) dos diferentes compostos pelo teste de Tukey (Tabela 5), não houve correspondência para a decisão estatística em ambos os períodos avaliados.

Tabela 5. Médias de absorção de água (%) após 2h e 24h de imersão em água dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)					
	1		3		5	
	AA 2h	AA 24h	AA 2h	AA 24h	AA 2h	AA 24h
Ácido bórico	37,4 a	49,0 b	53,3 a	70,4 a	42,9 a	60,1 b
Bórax	33,1 a	52,8 b	35,3 b	57,9 b	39,9 a	70,2 a
Ácido bórico + bórax	38,9 a	63,9 a	41,0 b	65,2 a	39,4 a	65,9 ab
Média Geral	36,5	55,2	43,2	64,5	40,8	65,4

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada tempo de imersão, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Para as médias de AA 2h, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os compostos apenas na concentração de 3%. Nesta concentração, a maior média de absorção de água foi das amostras tratadas com ácido bórico, 10,1 p.p. superior à média geral. Relacionando-se este resultado com a densidade aparente, este tratamento apresentou menor média ($0,463 \text{ g cm}^{-3}$).

A absorção de água da madeira e seus derivados está relacionada com a densidade e, por conseguinte, com a proporção de espaços vazios na sua estrutura. Materiais com menores densidades tendem a absorver mais água que materiais mais densos.

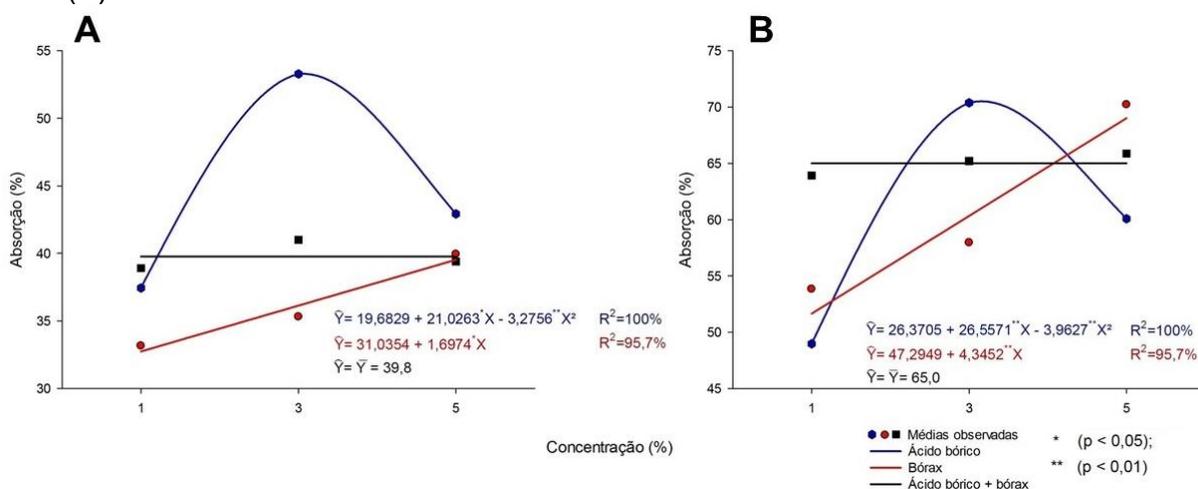
Na comparação das médias de AA 24h dos diferentes compostos, em todas as concentrações houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os mesmos.

Na concentração de 1%, a maior absorção foi do ácido bórico + bórax, que foi 8,7 p.p. superior à média geral. Na concentração de 3%, o composto com a maior média absoluta foi o ácido bórico, que foi 5,9 p.p. superior à média geral. Na

concentração de 5%, o composto com a maior média absoluta foi o bórax, que foi 4,8 p.p. superior à média geral.

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto na absorção de água foi realizado por meio da análise de regressão, cujas equações ajustadas estão apresentadas na Figura 4. Identificou-se um mesmo padrão de absorção tanto para AA 2h quanto para AA 24h.

Figura 4. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro na AA 2h (A) e AA 24h (B)



Para as amostras tratadas com ácido bórico, ocorreu aumento na AA 2h e AA 24h com o aumento da concentração de 1% para 3%, correspondendo a 15,9 p.p. e 21,34 p.p., respectivamente. Contudo, o efeito foi inverso de 3% para 5% de concentração, com redução de 10,4 p.p. e 10,3 p.p., respectivamente para AA 2h e AA 24h.

O efeito da concentração de bórax na AA 2h e AA 24h foi crescente e linear. Da concentração de 1% para 3% houve aumento de 2,2 e 5,1 p.p., respectivamente para AA 2h e AA 24h. Da mesma forma, houve aumento de 4,6 p.p. e 12,3 p.p. de 3% para 5% de concentração.

Apenas para as soluções de ácido bórico + bórax não houve efeito da concentração na absorção de água para ambos os períodos avaliados. As médias de AA 2h e AA 24h foram próximas às médias gerais, que corresponderam a 39,8% e 65%, respectivamente.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 6), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre pelo menos uma das médias de absorção de água das amostras tratadas e o controle após 2h e 24h de imersão.

Tabela 6. Médias de absorção de água (%) após 2h e 24h de imersão e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Absorção de água (%)	
		2h	24h
Ácido Bórico	1	37,4*	48,7*
	3	53,3*	70,4*
	5	42,9 ^{ns}	60,1 ^{ns}
Bórax	1	33,1*	52,8*
	3	35,3*	57,9 ^{ns}
	5	39,3 ^{ns}	70,2*
Ácido Bórico + Bórax	1	38,9 ^{ns}	63,9 ^{ns}
	3	41,0 ^{ns}	65,2 ^{ns}
	5	39,4 ^{ns}	65,9 ^{ns}
Controle		45,2	62,7

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Na comparação das médias dos tratamentos com o controle apenas as médias das amostras tratadas com soluções de bórax a 3% e 5% tiveram respostas diferentes para os dois períodos avaliados.

Para AA 2h, oito dos nove tratamentos tiveram média menor ou não diferente significativamente da média do controle, ao passo que para AA 24h isso ocorreu para sete dos nove tratamentos. Esse resultado foi satisfatório, porque apenas os tratamentos com ácido bórico a 3% (AA 2h e AA 24h) e bórax a 5% (AA 24h) causaram efeito negativo na absorção de água dos painéis.

Concomitantemente para AA 2h e AA 24h, houve redução significativa em relação ao controle para os tratamentos com ácido bórico e bórax, ambos a 1% de concentração. Para AA 2h, esse efeito ainda ocorreu para o bórax a 3%.

Pouco é relatado sobre a influência dos compostos de boro na absorção de água da madeira. Alguns autores afirmam que a madeira tratada com retardantes de chama inorgânicos, como os compostos de boro, tende a ser mais higroscópica que aquelas não tratadas (KARTAL; HWANG; IMAMURA et al., 2007).

3.4 INCHAMENTO EM ESPESSURA

Conforme resultados da ANOVA para o inchamento em espessura após 2h (Apêndice 2, Tabela 2.9) e 24h (Apêndice 2, Tabela 2.11), houve interação significativa entre os fatores composto e concentração ($p < 0,01$).

Conforme o teste de Tukey aplicado às médias de inchamento em espessura após 2h (IE 2h) e 24h (IE 24 h) (Tabela 7), apenas para a concentração de 3% houve correspondência na decisão estatística entre os compostos para ambos os períodos avaliados.

Tabela 7. Médias de inchamento em espessura (%) após 2h e 24h de imersão dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)					
	1		3		5	
	IE 2h	IE 24h	IE 2h	IE 24h	IE 2h	IE 24h
Ácido bórico	4,3 a	5,6 b	2,8 b	4,6 b	3,4 a	5,6 a
Bórax	4,8 a	7,1 a	5,0 a	7,4 a	3,1 a	4,2 b
Ácido bórico + bórax	3,0 b	6,0 b	3,4 b	5,3 b	3,3 a	4,7 ab
Média Geral	4,0	6,2	3,7	5,8	3,3	4,8

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada tempo de imersão, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

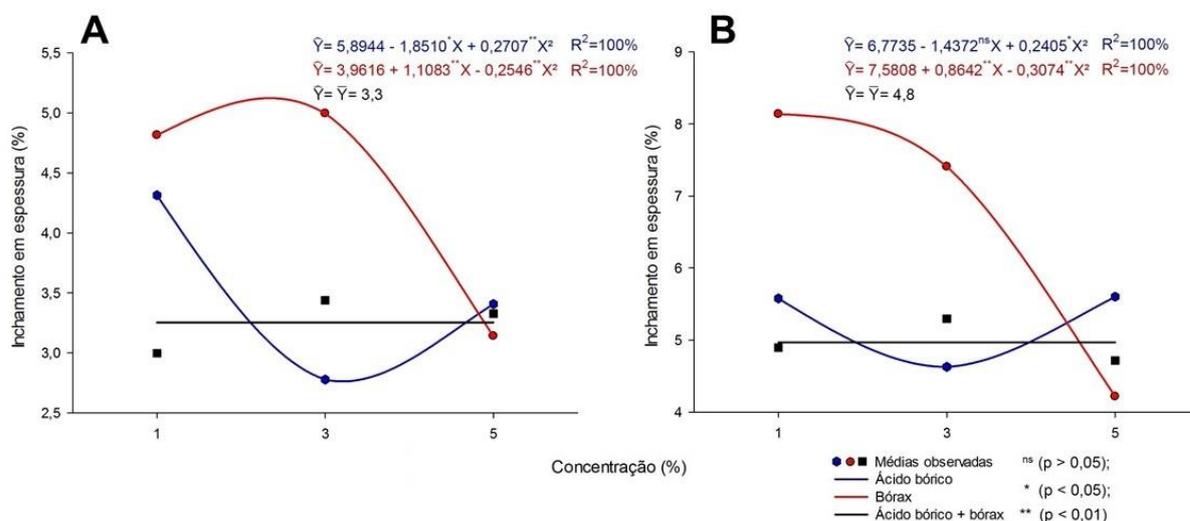
Na concentração de 1%, a menor média de IE 2h foi das amostras tratadas com a solução de ácido bórico + bórax, 1,0 p.p. inferior à média geral.

Para 3% de concentração, o bórax teve maiores médias de IE 2h e IE 24h, que foram 1,3 p.p. e 1,6 p.p. maiores que as médias gerais, respectivamente. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias de IE 2h dos compostos na concentração de 5%.

Na comparação das médias de IE 24h entre os compostos, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os mesmos em todas as concentrações. Na concentração de 1% a maior média foi das amostras tratadas com a solução de bórax, 1,1 p.p. superior à média geral. Na concentração de 5% a maior média absoluta foi das amostras tratadas com ácido bórico, 0,8 p.p. superior à média geral.

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto no inchamento em espessura foi realizado por meio da análise de regressão cujas equações ajustadas estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro no IE 2h (A) e IE 24h (B)



Semelhantemente à absorção de água, o efeito da concentração dos compostos no inchamento em espessura apresentou um mesmo padrão para ambos os períodos avaliados.

O aumento da concentração de ácido bórico de 1% para 3% reduziu o IE 2h e o IE 24h em 1,5 p.p. e 1,0 p.p., respectivamente. O inverso ocorreu de 3% para 5% de concentração, com o aumento de 0,6 p.p. e 1,0 p.p., respectivamente para IE 2h e IE 24h.

O bórax teve comportamento inverso do ácido bórico, aumentando-se o IE 2h e o IE 24h de 1% para 3% de concentração, ocorrendo redução de 3% para 5%. Para IE 2h a variação foi de 0,2 p.p. e -1,9 p.p. e para IE 24h a variação foi de 0,3 p.p. e -3,2 p.p., respectivamente de 1% para 3% e de 3% para 5% de concentração.

Não houve efeito das diferentes concentrações de ácido bórico + bórax no IE 2h e no IE 24h, ou seja, mesmo padrão da absorção de água. As médias de IE 2h e IE 24h foram semelhantes às médias gerais, iguais a 3,3% e 4,8%, respectivamente.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 8), houve diferença significativa (p < 0,05) entre pelo menos uma das médias de inchamento em espessura das amostras tratadas e o controle após 2h e 24h de imersão.

Tabela 8. Médias de inchamento em espessura (%) dos painéis compensados após 2h e 24h e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Inchamento em espessura (%)	
		2h	24h
Ácido Bórico	1	4,3 ^{ns}	5,6 ^{ns}
	3	2,8*	4,6 ^{ns}
	5	3,4 ^{ns}	5,6 ^{ns}
Bórax	1	4,8 ^{ns}	8,1*
	3	5,0 ^{ns}	7,4*
	5	3,1 ^{ns}	4,2 ^{ns}
Ácido Bórico + Bórax	1	3,0*	4,9 ^{ns}
	3	3,4 ^{ns}	5,3 ^{ns}
	5	3,3 ^{ns}	4,7 ^{ns}
Controle		4,3	4,9

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Para IE 2h, as médias de todos os tratamentos foram inferiores ou não diferiram significativamente do controle. Os tratamentos com menores médias que o controle foram o ácido bórico a 3% e o ácido bórico + bórax a 1%, com reduções de 1,5 p.p e 1,3 p.p., respectivamente.

As médias de IE 24h de sete dos nove tratamentos não diferiram significativamente do controle. Apenas os tratamentos com bórax a 1% e 3% tiveram médias maiores que o controle, com aumentos de 3,2 p.p. e 2,5 p.p., respectivamente.

3.5 RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

Conforme resultados da ANOVA para MOE (Apêndice 2, Tabela 2.13) e MOR (Apêndice 2, Tabela 2.15), na resistência a flexão paralela às fibras, houve interação significativa entre os fatores composto e concentração.

Na comparação entre as médias de flexão estática paralela às fibras dos diferentes compostos pelo teste de Tukey (Tabela 9), não houve padrão na decisão estatística de MOR e MOE para as diferentes concentrações.

Tabela 9. Médias de MOE (MPa) e MOR (MPa) paralelos às fibras dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)					
	1		3		5	
	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR
Ácido bórico	5267,2 b	43,6 a	4235,2 b	38,1 c	5349,3 a	51,8 a
Bórax	6560,0 a	50,9 a	7480,0 a	61,3 a	5997,0 a	40,4 b
Ácido bórico + bórax	5551,7 ab	49,0 a	6553,0 a	50,9 b	6617,5 a	53,0 a
Média Geral	5793,1	47,8	6095,9	50,1	5987,9	48,4

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

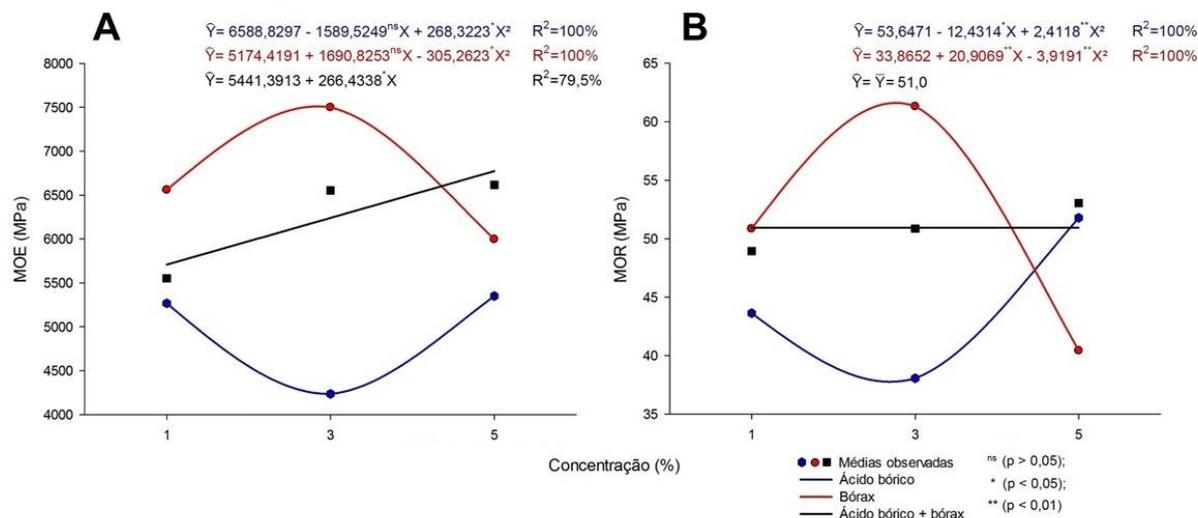
Para o MOE, as médias dos compostos diferiram entre si ($p < 0,05$) apenas nas concentrações de 1% e 3%. Na concentração de 1%, a maior média absoluta de MOE foi das amostras tratadas com bórax, que apesar de não diferirem significativamente das amostras de ácido bórico + bórax, foi quase 19% superior a esta.

Na concentração de 3%, as maiores médias de MOE também foram das amostras tratadas com bórax e de ácido bórico + bórax, que foram 23% e 8% superiores à média geral, respectivamente.

Para as médias de MOR, apenas as soluções formuladas nas concentrações de 3% e 5% diferiram significativamente ($p < 0,05$). Na concentração de 3%, a menor média foi das amostras tratadas com ácido bórico, que foi 24% inferior à média geral. Para a concentração de 5%, a menor média de MOR foi das amostras tratadas com a solução de bórax, que foi 17% inferior à média geral.

O estudo do efeito da concentração dentro de cada composto de boro em MOE (A) e MOR (B) paralelos às fibras foi realizado por meio da análise de regressão cujas equações ajustadas são apresentadas na Figura 6. O comportamento apresentado para ambas as variáveis (MOE e MOR) apresentou padrão semelhante entre si.

Figura 6. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro em MOE (A) e MOR (B) paralelos às fibras



Como são duas variáveis correlatas, MOE e MOR tiveram tendências semelhantes. Com o aumento da concentração de ácido bórico de 1% para 3%, MOE e MOR foram diminuídos em 20% e 13%, respectivamente. Da concentração de 3% para 5%, houve aumento nas médias de MOE e MOR em 26% e 36%, respectivamente.

O comportamento foi inverso para as soluções formuladas com bórax, em que da concentração de 1% para 3%, MOE e MOR aumentaram em 14% e 21%, com posterior diminuição em 20% e 34% da concentração de 3% para 5%, respectivamente.

Nas amostras tratadas com a solução de ácido bórico + bórax foi observado um efeito positivo e linear entre a concentração e o MOE, aumentando-se em 18% da concentração de 1% para 3%, com ligeira tendência de estabilização da concentração de 3% para 5%. Para o MOR o efeito da concentração foi nulo. As médias de MOR foram próximas à média geral (60 MPa).

Conforme resultados da ANOVA para MOE (Apêndice 2, Tabela 2.17) e MOR (Apêndice 2, Tabela 2.19) perpendiculares às fibras, houve interação significativa entre os fatores composto e concentração.

Na comparação entre as médias do ensaio de flexão estática perpendicular às fibras da lâmina da face dos diferentes compostos, pelo teste de Tukey (Tabela 10), houve padrão na decisão estatística de MOE e MOR nas diferentes concentrações.

Tabela 10. Médias de MOE (MPa) e MOR (MPa) perpendiculares às fibras dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

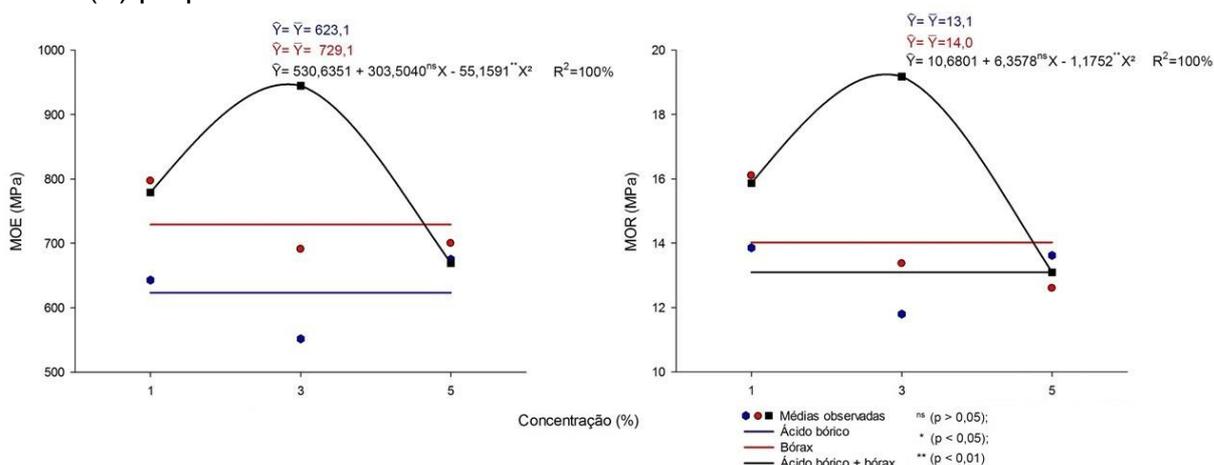
Composto	Concentração (%)					
	1		3		5	
	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR
Ácido bórico	642,8 a	13,9 a	551,5 b	11,8 b	675,1 a	13,6 a
Bórax	796,8 a	16,1 a	690,8 b	13,4 b	699,8 a	12,6 a
Ácido bórico + bórax	779,0 a	15,9 a	944,7 a	19,2 a	699,2 a	13,1 a
Média Geral	793,5	15,3	729,0	14,8	681,4	13,1

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Apenas na concentração de 3% houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias de MOE e MOR dos compostos. As maiores médias foram das amostras tratadas com ácido bórico + bórax, cerca de 30% maiores que as médias gerais.

O estudo do efeito da concentração de cada composto de boro na resistência à flexão estática perpendicular às fibras, por meio da análise de regressão com suas equações ajustadas, indicou um mesmo padrão para MOE e MOR.

Figura 7. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro em MOE (A) e MOR (B) perpendiculares às fibras



O efeito da concentração em MOE e MOR perpendiculares às fibras foi significativo apenas para as soluções de ácido bórico + bórax. Da concentração de 1% para 3%, ambas as médias aumentaram cerca de 21%, decrescendo posteriormente em cerca de 29% de 3% para 5%, também para ambas as variáveis.

Para os demais compostos, o efeito da concentração foi nulo ($p > 0,05$) e as médias de MOE e MOR variaram em torno da média geral; corresponderam a 623,1

e 729,1 MPa para o MOE, respectivamente para ácido bórico e para bórax e foram iguais a 13,1 e 14,0 MPa para o MOR, respectivamente para ácido bórico e bórax.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 11), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre pelo menos uma das médias de MOE e MOR paralelos e perpendiculares às fibras das amostras tratadas e o controle. De um modo geral, poucos tratamentos diferiram significativamente do mesmo.

Tabela 11. Médias de MOE (MPa) e MOR (MPa) e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Paralelo às fibras		Perpendicular às fibras	
		MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Ácido Bórico	1	5267,6 ^{ns}	43,6 ^{ns}	642,8 ^{ns}	13,9 ^{ns}
	3	4235,2*	38,1*	551,5 ^{ns}	11,8 ^{ns}
	5	5349,3 ^{ns}	51,9 ^{ns}	675,1 ^{ns}	13,6 ^{ns}
Bórax	1	6560,0 ^{ns}	50,9 ^{ns}	796,8 ^{ns}	16,1 ^{ns}
	3	7499,5*	61,3*	690,8 ^{ns}	13,2 ^{ns}
	5	5997,0 ^{ns}	40,4*	699,8 ^{ns}	12,3 ^{ns}
Ácido Bórico + Bórax	1	5551,7 ^{ns}	49,0 ^{ns}	779,0 ^{ns}	15,9 ^{ns}
	3	6553,0 ^{ns}	50,9 ^{ns}	944,7*	19,2 ^{ns}
	5	6617,4 ^{ns}	53,0 ^{ns}	669,2 ^{ns}	13,1 ^{ns}
Controle		5829,3	50,2	704,6	15,9

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Para os ensaios paralelos às fibras, apenas o tratamento com ácido bórico a 3% teve efeito negativo em relação ao controle tanto para MOR quanto para MOE. Para MOR, adicionalmente, este efeito ocorreu apenas para o bórax a 5%. Embora não tenha sido realizada análise estatística para essa comparação, as médias de MOR e MOE na direção paralela às fibras foram maiores que na direção perpendicular às fibras. Tomando-se o controle como base de comparação, as médias de MOE e MOR paralelos às fibras foram, respectivamente, 8,3 e 3,2 vezes maiores que as da orientação perpendicular às fibras.

Para os ensaios perpendiculares às fibras, todas as médias não diferiram significativamente do controle ($p > 0,05$), exceto a do MOE do tratamento ácido bórico + bórax a 3%, que foi 12% maior que a do controle.

Em razão de a maioria dos tratamentos ter efeito nulo para o ensaio de flexão estática em relação ao controle, pode-se sugerir que o tratamento preservativo

exerceu pouca influência nesta propriedade, corroborando com o reportado na literatura (COLAKOGLU et al., 2003; LEVAN; TRAN, 1990).

Os compostos de boro podem se tornar os produtos preservativos mais estudados e utilizados, exatamente por afetarem pouco as propriedades da madeira (LEVAN; TRAN, 1990). Colakoglu et al. (2003) reportaram que, apesar do efeito do tratamento preservativo com ácido bórico na flexão estática de painéis LVL ter sido significativo, a diminuição foi pequena considerando-se a utilização deste produto.

Apesar de não estabelecer especificações para painéis produzidos com três lâminas, os resultados de flexão estática paralela às fibras dos painéis tratados com compostos de boro foram classificados como “aprovados”, conforme estabelecido pelo catálogo técnico da ABIMCI (2007). Conforme a ABIMCI (2007), os valores mínimos de MOE e MOR estabelecidos para painéis de *Pinus* spp. com cinco lâminas são de 3.110 e 27,8 MPa, respectivamente.

O não enquadramento do MOR e MOE perpendiculares ao estabelecido pela ABIMCI (2007) certamente se relaciona ao número de lâminas consideradas em seu catálogo técnico (cinco lâminas) e ao utilizado nesta pesquisa (três lâminas). Uma vez que a força de flexão será exercida sobre duas lâminas dispostas paralelamente no painel (painel de cinco lâminas), este apresentará maior resistência, comparado ao que dispõem de apenas uma lâmina paralela em sua constituição (painel de três lâminas).

3.6 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

Conforme resultados da ANOVA para a resistência ao cisalhamento na linha de cola (Apêndice 2, Tabela 2.21), houve interação significativa entre os fatores composto e concentração. Na comparação das médias de cisalhamento dos diferentes compostos pelo teste de Tukey (Tabela 12), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os compostos apenas nas concentrações de 3% e 5%.

Tabela 12. Médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa) dos painéis compensados produzidos com lâminas de *Pinus* sp. tratadas com diferentes soluções de compostos de boro

Composto	Concentração (%)		
	1	3	5
Ácido Bórico	1,31 a	1,40 a	0,92 a
Bórax	1,10 a	0,73 c	0,68 b
Ácido Bórico + Bórax	1,22 a	1,03 b	1,08 a
Média Geral	1,21	1,05	0,89

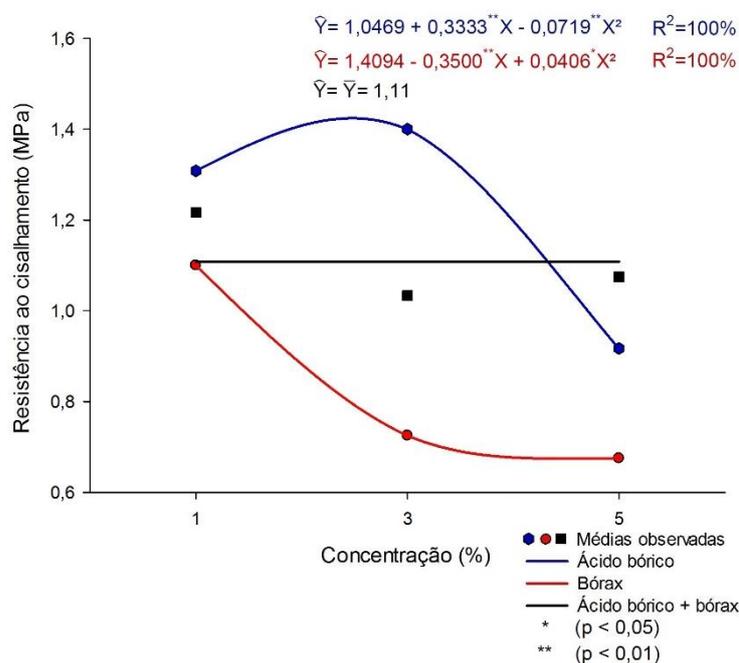
Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Na concentração de 3%, a maior média de resistência ao cisalhamento foi das amostras tratadas com ácido bórico, que foi 33% superior à média geral. A menor média foi das amostras tratadas com bórax, que foi 30% inferior à média geral.

Na concentração de 5%, a maior média absoluta foi do ácido bórico + bórax (21% maior que a média geral), ao passo que a menor média foi das amostras tratadas com bórax (24% menor que a média geral).

Conforme o estudo do efeito da concentração dos compostos na resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis realizado por meio da análise de regressão, cujas equações ajustadas são apresentadas na Figura 8, pode-se verificar que cada composto teve um comportamento diferente entre si.

Figura 8. Efeito da concentração dentro de cada composto de boro na resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa)



O efeito dos compostos ácido bórico e bórax foi inverso, ao passo que para o ácido bórico + bórax o efeito foi nulo, em que as médias de resistência deste composto ficaram próximas à média geral (1,11 MPa). Para o ácido bórico, a resistência ao cisalhamento aumentou em cerca 3% de 1% para 3% de concentração, decrescendo 34% de 3% para 5%.

Conforme o teste de Dunnett (Tabela 13), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola e da porcentagem de falha na madeira das amostras tratadas e o controle.

Tabela 13. Médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa), falha na madeira (%) e comparação dos tratamentos com o controle pelo teste de Dunnett

Composto	Concentração (%)	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)
Ácido Bórico	1	1,31 ^{ns}	27,9 ^{ns}
	3	1,40 ^{ns}	17,9 ^{ns}
	5	0,92 [*]	7,9 [*]
Bórax	1	1,10 [*]	13,3 ^{ns}
	3	0,73 [*]	5,8 [*]
	5	0,68 [*]	7,1 [*]
Ácido Bórico + Bórax	1	1,22 ^{ns}	21,7 ^{ns}
	3	1,03 [*]	6,7 [*]
	5	1,08 [*]	14,2 ^{ns}
Controle		1,37	30,8

* Difere significativamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ^{ns} não difere do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Entres as médias de cisalhamento, apenas quatro dos nove tratamentos não diferiram significativamente do controle ($p > 0,05$) e nenhum dos tratamentos teve maior média que este. As maiores médias absolutas foram dos tratamentos com ácido bórico a 1% (1,31 MPa) e 3% (1,40 MPa).

De um modo geral, o tratamento preservativo afetou negativamente a resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis compensados nas concentrações de 3% e 5%, excetuando-se o ácido bórico para a concentração de 3%. O tratamento que apresentou menor média de resistência foi o bórax a 5%, que foi reduzido em 50% em relação ao controle.

Objetiva-se, ao testar a resistência ao cisalhamento na linha de cola de painéis, obter altas porcentagens de falha na madeira, evidenciando a eficiência da colagem. No entanto, entre as médias de porcentagem de falha, cinco dos tratamentos não

diferiram significativamente do controle e, semelhantemente à resistência, nenhum dos tratamentos teve média superior ao mesmo.

A maior média absoluta de falha foi do tratamento com ácido bórico a 1% e, de um modo geral, o efeito negativo da concentração na falha foi negativo, uma vez que para todos os compostos as maiores médias foram dos tratamentos com concentrações de 1%.

Relacionando-se a resposta das análises estatísticas (ANOVA em esquema fatorial, análise da regressão e testes de Dunnett), pode-se afirmar que o tratamento preservativo exerceu efeito negativo ou nulo na resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis, porém nunca positivo. Ozçifçi (2008) concluiu, para diferentes espécies madeireiras, que os compostos de boro não afetam a qualidade prática de colagem, mas reduzem a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Apesar do efeito negativo do tratamento preservativo na colagem dos painéis, os tratamentos com médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola acima de 1,00 MPa enquadraram-se como “aprovados” pela norma europeia EN 314-2 (1993), independentemente da porcentagem de falha avaliada. Seis dos nove tratamentos testados enquadraram-se nesse quesito, a saber: ácido bórico a 1% e 3%, bórax a 1% e ácido bórico + bórax em qualquer concentração.

Priorizando o princípio da economicidade e ressaltando que, entre os diferentes compostos, o bórax teve menores médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola, o mais recomendável é o uso de soluções de ácido bórico.

4 CONCLUSÕES

- › Os compostos de boro tornaram os painéis compensados mais higroscópicos que o controle, excetuando-se o tratamento com ácido bórico a 1%. Contudo, o aumento da higroscopicidade não foi suficiente para causar qualquer prejuízo para a utilização dos painéis.
- › Parece não haver efeito do tratamento preservativo com compostos de boro na densidade aparente dos painéis compensados, em que o efeito da matéria-prima nesta propriedade foi mais representativo que os tratamentos. O mesmo pode ser concluído para a absorção de água e para o inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão.
- › A resistência à flexão estática dos painéis compensados na orientação paralela às fibras foi 3,6 e 8,3 vezes maior para MOR e MOE, respectivamente, quando comparada à orientação perpendicular às fibras.
- › O tratamento preservativo com os compostos de boro não afetou negativamente a flexão estática dos painéis, tanto para a orientação paralela quanto perpendicular às fibras, excetuando-se o tratamento com ácido bórico (3%) para a orientação paralela às fibras.
- › A resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis compensados foi afetada negativamente pelo tratamento preservativo na concentração de 5%. O mesmo efeito também ocorreu com o bórax e com o ácido bórico + bórax na concentração de 3%
- › Não houve efeito negativo do uso de ácido bórico a 1% e a 3% e de ácido bórico + bórax a 1% na resistência ao cisalhamento na linha de cola.
- › O aumento da concentração dos compostos de boro diminuiu a eficiência da colagem dos painéis, aumentando a porcentagem de falha na linha de cola.
- › A respeito do efeito na resistência ao cisalhamento na linha de cola, as médias dos tratamentos com ácido bórico a 1% e 3%, com bórax a 1% e com ácido bórico + bórax atenderam aos requisitos de qualidade da norma europeia EN 314-2.
- › De um modo geral, a higroscopicidade, a densidade aparente, a resistência na flexão estática paralela às fibras (MOR e MOE) dos painéis tratados com compostos de boro atenderam aos requisitos de qualidade exigidos pela ABIMCI.

- › Objetivando-se a produção de painéis duráveis e com bom desempenho físico e mecânico, recomenda-se o uso de soluções de ácido bórico na concentração de até 3% ou de soluções com os demais compostos na concentração de 1%.

5 REFERÊNCIAS

ABDUL KHALIL, H. P. S. et al. Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass. **Materials and Design**, Amsterdam, v. 31, p. 417-424, 2010.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 88, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Catálogo técnico de compensados de *Pinus***. Curitiba: ABIMCI, 2007. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Ann. Eug.**, Cambridge, v. 11, p. 47-51, 1947.

COLAKOGLU, G. et al. Effect of boric acid treatment on mechanical properties of laminated beech veneer lumber. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 37, n. 4, p. 505-510, 2003.

DIESTE, A. et al. Physical and mechanical properties of plywood produced with 1.3-dimethylol-4.5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU)- modified veneers of *Betula* sp. and *Fagus sylvatica*. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 66, p. 281-287, 2008.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARTIZATION. **EN 310**: wood-based panels - determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels, 1993.

_____. **EN 314-1**: plywood - bonding quality - part 1: test methods. Brussels, 2004.

_____. **EN 314-2**: plywood - bonding quality - part 2: requirements. Brussels, 1993.

_____. **EN 317**: particleboards and fibreboards - determination of swelling in thickness after immersion in water. Brussels, 1993.

_____. **EN 322**: wood-based panels - determination of moisture content. Brussels, 1993.

_____. **EN 323**: wood-based panels - determination of density. Brussels, 1993.

_____. **EN 326-1**: wood-based panels - sampling, cutting and inspection - sampling and cutting of test pieces and expression of test results. Brussels, 1994.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005. 247p.

JORGE, F. C.; NUNES, L.; BOTELHO, C. Boron in wood preservation: problems, challenges and proposed solutions - an overview on recent research. **Journal from the Faculty of Science and Technology**, [S.l.], v. 1, p. 3-15, 2004.

KARTAL, S. N.; HWANG, W.; IMAMURA, Y. Water absorption of boron-treated and heat-modified wood. **Journal of Wood Science**, [S.l.], v. 53, p. 454-457, 2007.

LEBOW, S. T. Wood Preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Centennial ed. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, p. 15-1 – 15-28.

LEVAN, S. L.; TRAN, H. C. The role of boron in flame-retardant treatments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD PROTECTION WITH DIFFUSIBLE PRESERVATIVES, 1., 1990, Nashville, Tennessee. **Proceedings...** Forest Products Society, Madison, p. 39-41, 1990.

MOEZZIPOUR, B. et al. The effect of different kinds of nanosilica on practical properties of plywood. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, Heidelberg, v. 10, n. 2, p. 118-124, 2013.

OZÇIFÇI, A. Impacts of impregnation with boron compounds on the bonding strength of wood materials. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 22, p. 541-545, 2008

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, [S.l.], v. 52, p. 591-611, 1965.

SMALLWOOD, C. et al. Toxicological review of boron and compounds. **United States Environmental Protection Agency**, Washington D.C., 2001. (EPA 635/04/052).

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

- › O tratamento preservativo foi eficiente contra térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) e o fungo embolorador (*Penicillium* sp.).
- › Os melhores resultados de eficiência contra térmitas (notas de desgaste e perda de massa) foram dos tratamentos com as soluções formuladas na concentração de 3%, em que o ácido bórico foi o composto com melhor desempenho.
- › A resistência ao cisalhamento na linha de cola foi negativamente afetada pelos tratamentos em concentrações acima de 1%, excetuando-se o ácido bórico a 3%.
- › Para a produção de painéis com maior durabilidade contra térmitas de madeira seca e fungo embolorador e com melhores propriedades físicas e mecânicas, sugere-se o uso de solução de ácido bórico a 3%.
- › Para tentar anular o efeito da matéria-prima nos resultados dos painéis, recomenda-se a seleção de lâminas por classes de densidade.
- › Para aumentar a retenção dos compostos de boro utilizando-se o método de imersão simples, sugere-se a utilização de lâminas com umidade acima do ponto de saturação das fibras, o que facilitará a difusão do produto preservativo e, possivelmente, diminuirá o tempo de imersão.
- › Sobre o estudo com compostos de boro, sugere-se a realização de pesquisas integradas que considerem a eficiência de diferentes concentrações de compostos de boro na resistência à biodeterioração de compensados e a análise econômica do processo.

APÉNDICE 1

Tabela 1.1. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3) e da análise de regressão para o teste de retenção (kg m^{-3}) dos compostos de boro nos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	0,03656	0,01828	4,52*
Concentração (B)	2	0,62345	0,31172	77,16**
AxB	4	0,06743	0,01686	4,17**
Tratamentos	8	0,72744	0,09093	22,55**
Resíduo	27	0,10909	0,00404	-
Total	35	0,83652	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(0,0918)	-	-
Regressão Linear	1	0,0882	0,0882	21,8**
Regressão Quadrática	1	0,0036	0,0036	0,89 ^{ns}
Concentração/Composto 2	(2)	(0,1944)	-	-
Regressão Linear	1	0,1943	0,1943	48,1**
Regressão Quadrática	1	0,0001	0,0001	0,02 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(0,4047)	-	-
Regressão Linear	1	0,3966	0,3966	98,2**
Regressão Quadrática	1	0,0081	0,0081	2,00 ^{ns}
Resíduo	27	0,10909	0,00404	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.2. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a mortalidade (%) das térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	87,77778	43,88889	0,52 ^{ns}
Concentração (B)	2	2696,94444	1348,47222	15,91**
AxB	4	286,38889	71,59722	0,85 ^{ns}
Fatorial x Controle	1	5814,01389	5814,01389	68,60**
Tratamentos	9	8885,12500	987,23611	11,65**
Resíduo	40	3390,00000	84,75000	-
Total	49	12275,1250	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração	(2)	(2696,9444)	-	-
Regressão Linear	1	1960,2083	1960,2083	23,13**
Regressão Quadrática	1	736,7364	736,7364	8,69**
Resíduo	40	3390,0	84,75	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.3. ANOVA dos dados de mortalidade (%) considerando todos os dez tratamentos avaliados (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	8885,12500	987,23611	11,65*
Resíduo	40	3390,00000	84,75000	-
Total	49	12275,12500	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.4. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para as notas de desgaste provocado pelas térmitas (*Cryptotermes brevis*) nos painéis compensados

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	1,34938	0,67469	3,28*
Concentração (B)	2	4,05309	2,02654	9,85**
AxB	4	0,60062	0,15015	0,73 ^{ns}
Fatorial x Controle	1	12,14150	12,14150	58,99**
Tratamentos	9	18,14458	2,01606	9,79**
Resíduo	40	8,23333	0,20583	-
Total	49	26,37791	-	-
ANOVA DA REGRESSÃO				
Concentração	(2)	(4,0531)	-	-
Regressão Linear	1	3,6750	3,6750	17,86*
Regressão Quadrática	1	0,3781	0,3781	1,84 ^{ns}
Resíduo	40	8,23333	0,2058	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.5. ANOVA dos dados de notas de desgaste considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	18,14459	2,01607	9,80*
Resíduo	40	8,23333	0,20583	-
Total	49	26,37792	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.6. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a perda de massa (%) decorrente do desgaste provocado pelas térmitas (*Cryptotermes brevis*) nos painéis compensados

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	1	0,82060	0,82060	19,81**
Concentração (B)	2	0,14670	0,07335	17,70**
AxB	2	0,03586	0,01793	0,04 ^{ns}
Fatorial x Controle	1	0,95596	0,95596	23,07**
Tratamentos	6	1,95912	0,32652	7,88*
Resíduo	28	1,16011	0,004143	-
Total	34	3,11923	-	-
ANOVA DA REGRESSÃO				
Concentração	(2)	(0,1467)	-	-
Regressão Linear	1	0,1437	0,1437	34,66**
Regressão Quadrática	1	0,0030	0,0030	0,72 ^{ns}
Resíduo	28	1,16011	0,004143	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.7. ANOVA dos dados de perda de massa (%) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	3,09797	0,34422	11,87*
Resíduo	40	1,16011	0,02900	-
Total	49	4,25808	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.8. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para as notas de crescimento do fungo embolorador (*Penicillium* sp.) nos painéis compensados

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	1,02533	0,51267	2,91 ^{ns}
Concentração (B)	2	0,30533	0,15267	0,87 ^{ns}
AxB	4	0,71333	0,17833	1,01 ^{ns}
Fatorial x Controle	1	88,17920	88,17920	500,17**
Tratamentos	9	90,22320	10,02480	56,86**
Resíduo	40	7,05200	0,17630	-
Total	49	97,27520	-	-
ANOVA DA REGRESSÃO				
Concentração	(2)	(0,3053)	-	-
Regressão Linear	1	0,2803	0,2803	1,58 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,0250	0,0250	0,14 ^{ns}
Resíduo	40	7,05200	0,17630	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 1.9. ANOVA dos dados das notas de crescimento do fungo embolorador (*Penicillium* sp.) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	90,22320	10,02480	56,86*
Resíduo	40	7,05200	0,17630	-
Total	49	97,27520	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE 2

Tabela 2.1. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para o teor de umidade (%) dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	2,76564	1,38282	16,42**
Concentração (B)	2	13,67545	6,83772	81,18**
AxB	4	1,98229	0,49557	5,88**
Fatorial x Controle	1	8,51423	8,51423	101,08**
Tratamentos	9	26,93760	2,99307	35,53**
Resíduo	190	16,00435	0,08423	-
Total	199	42,94195	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(6,4556)	-	-
Regressão Linear	1	2,8378	2,8378	33,69**
Regressão Quadrática	1	3,6178	3,6178	42,95**
Concentração/Composto 2	(2)	(2,9843)	-	-
Regressão Linear	1	2,9800	2,9800	35,36**
Regressão Quadrática	1	0,0043	0,0043	0,051 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(6,2178)	-	-
Regressão Linear	1	5,5332	5,5332	65,69**
Regressão Quadrática	1	0,6846	0,6846	8,12**
Resíduo	190	16,00435	0,08423	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.2. ANOVA dos dados de teor de umidade (%) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	26,93760	2,99307	35,53**
Resíduo	190	16,00436	0,08423	-
Total	199	42,94196	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.3. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a densidade aparente (g cm^{-3}) dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	0,03218	0,01609	4,03*
Concentração (B)	2	0,00141	0,00070	0,18 ^{ns}
AxB	4	0,07924	0,01981	4,96**
Fatorial x Controle	1	0,02575	0,02575	6,45*
Tratamentos	9	0,13858	0,01540	3,86**
Resíduo	190	0,75846	0,00399	-
Total	199	0,89704	-	-

ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(0,0277)	-	-
Regressão Linear	1	0,0053	0,0053	1,33 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,0224	0,0224	5,61*
Concentração/Composto 2	(2)	(0,0006)	-	-
Regressão Linear	1	0,0003	0,0003	0,075 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,0003	0,0003	0,075 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(0,0524)	-	-
Regressão Linear	1	0,0009	0,0009	2,25 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,0515	0,0515	12,9**
Resíduo	190	0,75846	0,00399	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.4. ANOVA dos dados de densidade aparente (g cm^{-3}) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	0,13858	0,01540	3,86**
Resíduo	190	0,75846	0,00399	-
Total	199	0,89704	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.5. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a absorção de água (%) dos painéis compensados após duas horas de imersão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	1604,87146	802,43573	14,87**
Concentração (B)	2	1034,83683	517,41842	9,59**
AxB	4	1304,98057	326,24514	6,05**
Fatorial x Controle	1	339,23332	339,23332	6,30*
Tratamentos	9	4283,92218	475,99135	8,82**
Resíduo	140	7552,90317	53,94931	-
Total	149	11836,8253	-	-

ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(1942,9043)	-	-
Regressão Linear	1	226,2271	226,2271	4,19*
Regressão Quadrática	1	1716,6772	1716,6772	31,82**
Concentração/Composto 2	(2)	(360,9801)	-	-
Regressão Linear	1	345,7287	345,7287	6,41*
Regressão Quadrática	1	15,2514	15,2514	0,28 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(35,9330)	-	-
Regressão Linear	1	1,8123	1,8123	0,03 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	34,1207	34,1207	0,63 ^{ns}
Resíduo	140	7552,90317	53,94931	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.6. ANOVA dos dados de absorção de água (%) após duas horas de imersão considerando todo os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	4283,92227	475,99136	8,82**
Resíduo	140	7552,90287	53,94931	-
Total	149	11836,82513	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.7. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a absorção de água (%) dos painéis compensados após 24 horas de imersão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	735,39907	367,69953	6,49**
Concentração (B)	2	2847,41236	1423,7062	25,11**
AxB	4	3015,81364	753,95341	13,30**
Fatorial x Controle	1	13,62577	13,62577	0,24 ^{ns}
Tratamentos	9	6612,25084	734,69454	12,96**
Resíduo	140	7936,49677	56,68926	-
Total	149	14548,7476	-	-

ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(3440,3779)	-	-
Regressão Linear	1	927,8511	927,8511	16,37**
Regressão Quadrática	1	2512,5268	2512,5268	44,32**
Concentração/Composto 2	(2)	(2393,2109)	-	-
Regressão Linear	1	2265,6594	2265,6594	39,97**
Regressão Quadrática	1	127,5515	127,5515	2,25 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(29,6363)	-	-
Regressão Linear	1	28,7032	28,7032	0,51 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,9331	0,9331	0,02 ^{ns}
Resíduo	140	7936,49677	56,68926	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.8 ANOVA dos dados de absorção de água (%) após 24 horas de imersão considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	6612,25085	734,69454	12,96**
Resíduo	140	7936,49676	56,68926	-
Total	149	14548,74760	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.9. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para inchamento em espessura (%) dos painéis compensados após duas horas de imersão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	27,90995	13,95498	10,85**
Concentração (B)	2	12,83690	6,41845	4,99*
AxB	4	38,08375	9,52094	7,40**
Fatorial x Testemunha	1	4,30459	4,30459	3,35 ^{ns}
Tratamentos	9	83,13519	9,23724	7,18**
Resíduo	140	180,07439	1,28625	-
Total	149	263,20958	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(17,9007)	-	-
Regressão Linear	1	6,1774	6,1774	4,80*
Regressão Quadrática	1	11,7233	11,7233	9,11**
Concentração/Composto 2	(2)	(31,4349)	-	-
Regressão Linear	1	21,0670	21,0670	16,38**
Regressão Quadrática	1	10,3679	10,3679	8,06**
Concentração/Composto 3	(2)	(1,5851)	-	-
Regressão Linear	1	0,8207	0,8207	0,64 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,7644	0,7644	0,59 ^{ns}
Resíduo	140	180,07439	1,28625	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.10 ANOVA dos dados de inchamento em espessura (%) após duas horas de imersão considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	83,13519	9,23724	7,18**
Resíduo	140	180,07439	1,28625	-
Total	149	263,20958	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.11. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para inchamento em espessura (%) dos painéis compensados após 24 horas de imersão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	66,73110	33,36555	19,53**
Concentração (B)	2	43,40382	21,70191	12,71**
AxB	4	98,90364	24,72591	14,48**
Fatorial x Testemunha	1	7,56724	7,56724	4,43*
Tratamentos	9	216,60581	24,06731	14,09**
Resíduo	140	239,13245	1,70809	-
Total	149	455,73826	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(9,2608)	-	-
Regressão Linear	1	0,0043	0,0043	0,0025 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	9,2565	9,2565	5,42*
Concentração/Composto 2	(2)	(130,4036)	-	-
Regressão Linear	1	115,2850	115,2850	67,49**
Regressão Quadrática	1	15,1186	15,1186	8,85**
Concentração/Composto 3	(2)	(2,6431)	-	-
Regressão Linear	1	0,2349	0,2349	0,14 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	2,4082	2,4082	1,41 ^{ns}
Resíduo	140	239,13245	1,70809	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.12. ANOVA dos dados de inchamento em espessura (%) após 24 horas de imersão considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	1,86807	0,20756	3,46**
Resíduo	140	8,40135	0,06001	-
Total	149	10,26942	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.13. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para o módulo de elasticidade (MPa) determinado em relação a direção longitudinal da última lâmina dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	48715546,3	24357773	17,02**
Concentração (B)	2	1412628,8	706314,4	0,49 ^{ns}
AxB	4	24966112,7	6241528,2	4,36**
Fatorial x Testemunha	1	151198,9	151198,9	0,11 ^{ns}
Tratamentos	9	75245486,7	8360609,6	5,84**
Resíduo	90	128829548	1431439,4	-
Total	99	204075034	-	-

ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(7712988,1)	-	-
Regressão Linear	1	33323,2069	33323,2	0,023 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	7679664,94	7679664,9	5,36*
Concentração/Composto 2	(2)	(11524583)	-	-
Regressão Linear	1	1584845,0	1584845,0	1,11 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	9939738,1	9939738,1	6,94*
Concentração/Composto 3	(2)	(7141168,7)	-	-
Regressão Linear	1	5678958,6	5678958,6	3,97*
Regressão Quadrática	1	1462210,1	1462210,1	1,02 ^{ns}
Resíduo	90	128829548	1431439,4	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.14. ANOVA dos dados de módulo de elasticidade (MPa) determinado em relação a direção longitudinal da última lâmina dos painéis compensados considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	75245486,97894	8360609,66433	5,84**
Resíduo	90	128829548,6143	1431439,42905	-
Total	99	204075035,5932	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.15. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para o módulo de ruptura (MPa) determinado em relação a direção longitudinal da última lâmina dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	823,58905	411,79452	6,48**
Concentração (B)	2	82,43559	41,21779	0,65 ^{ns}
AxB	4	3137,20088	784,30022	12,32**
Fatorial x Testemunha	1	18,86283	18,86283	0,30 ^{ns}
Tratamentos	9	4062,08835	451,34315	7,09**
Resíduo	90	5730,53122	63,67257	-
Total	99	9792,61956	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(953,1103)	-	-
Regressão Linear	1	332,6720	332,6720	5,22*
Regressão Quadrática	1	620,4383	620,4383	9,74**
Concentração/Composto 2	(2)	(2182,4125)	-	-
Regressão Linear	1	544,0677	544,0677	8,54**
Regressão Quadrática	1	1638,3448	1638,3448	25,73**
Concentração/Composto 3	(2)	(84,1138)	-	-
Regressão Linear	1	83,9696	83,9696	1,32 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,1442	0,1442	0,002 ^{ns}
Resíduo	90	5730,53122	63,67257	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.16. ANOVA dos dados de módulo de ruptura (MPa) determinado em relação a direção longitudinal da última lâmina dos painéis compensados considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	4062,08837	451,34315	7,09**
Resíduo	90	5730,53129	63,67257	-
Total	99	9792,61966	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.17. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para o módulo de elasticidade (MPa) determinado em relação a direção perpendicular da última lâmina dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	463784,29	231892,46	7,98**
Concentração (B)	2	57644,72	28822,36	0,99 ^{ns}
AxB	4	478467,24	119616,81	4,12**
Fatorial x Testemunha	1	1293,18	1293,18	0,04 ^{ns}
Tratamentos	9	1001190,06	111243,34	3,83**
Resíduo	90	2615153,18	29057,26	-
Total	99	3616343,24	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(82132,6)	-	-
Regressão Linear	1	5224,2049	5224,2049	0,18 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	76908,4243	76908,424	2,65 ^{ns}
Concentração/Composto 2	(2)	(69156,785)	-	-
Regressão Linear	1	47072,1639	47072,164	1,62 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	22084,6209	22084,621	0,76 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(384819,93)	-	-
Regressão Linear	1	60283,4940	60283,49	2,07 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	324536,43	324536,43	11,2**
Resíduo	90	2615153,18	29057,26	-

**Significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.18. ANOVA dos dados de módulo de elasticidade (MPa) determinado em relação a direção perpendicular da última lâmina dos painéis compensados considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mias o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	1001190,06392	111243,34044	3,83**
Resíduo	90	2615153,08596	29057,25651	-
Total	99	3616343,14989	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.19. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para o módulo de ruptura (MPa) determinado em relação a direção perpendicular da última lâmina dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	136,87060	68,43530	4,30*
Concentração (B)	2	77,62677	38,81339	2,44 ^{ns}
AxB	4	201,31088	50,32772	3,16*
Fatorial x Testemunha	1	21,56479	21,56479	1,35 ^{ns}
Tratamentos	9	437,37304	48,59700	3,05**
Resíduo	90	1433,64397	15,92938	-
Total	99	1871,01700	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(25,3979)	-	-
Regressão Linear	1	0,2768	0,2768	0,017 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	25,1211	25,1211	1,58 ^{ns}
Concentração/Composto 2	(2)	(67,7220)	-	-
Regressão Linear	1	61,2500	61,2500	3,84 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	6,4720	6,4720	0,41 ^{ns}
Concentração/Composto 3	(2)	(185,8176)	-	-
Regressão Linear	1	38,4895	38,4895	2,42 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	147,3281	147,3281	9,25**
Resíduo	90	1433,64397	15,92938	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.20. ANOVA dos dados de módulo de ruptura (MPa) determinado em relação a direção perpendicular da última lâmina dos painéis compensados considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	437,37306	48,59701	3,05**
Resíduo	90	1433,64403	15,92938	-
Total	99	1871,01709	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.21. Resumo da ANOVA em arranjo fatorial (3x3 + 1) e da análise de regressão para a resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa) dos painéis compensados

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Composto (A)	2	2,71500	1,35750	27,95**
Concentração (B)	2	1,83722	0,91861	18,91**
AxB	4	1,26111	0,31528	6,49**
Fatorial x Testemunha	1	1,08300	1,08300	22,30**
Tratamentos	9	6,89633	0,76626	15,77**
Resíduo	110	5,34333	0,04858	-
Total	119	12,23967	-	-
ANOVA da regressão				
Concentração/Composto 1	(2)	(1,5817)	-	-
Regressão Linear	1	0,9204	0,9204	18,94**
Regressão Quadrática	1	0,6613	0,6613	13,61**
Concentração/Composto 2	(2)	(1,2950)	-	-
Regressão Linear	1	1,0838	1,0838	22,31**
Regressão Quadrática	1	0,2112	0,2112	4,35*
Concentração/Composto 3	(2)	(0,2217)	-	-
Regressão Linear	1	0,1204	0,1204	2,48 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,1013	0,1013	2,08 ^{ns}
Resíduo	110	5,34333	0,04858	-

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2.22. ANOVA dos dados de resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	6,89633	0,76626	15,77**
Resíduo	110	5,34333	0,04858	-
Total	119	12,23967	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2.23. ANOVA dos dados de falha na madeira (%) considerando todos os dez tratamentos (compostos de boro mais o controle)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado
Tratamentos	9	8870,0	985,55556	3,37**
Resíduo	110	32166,66667	292,42424	-
Total	119	41036,66667	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade.