

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E ENGENHARIA CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA TRATADA
COM CCB CONFECCIONADOS COM RESINA POLIURETANA MISTA**

Rodrigo Kiyoshi Shirosaki

São Carlos

2019

RODRIGO KIYOSHI SHIROSAKI

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA TRATADA
COM CCB CONFECCIONADOS COM RESINA POLIURETANA MISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil

Área de Concentração: Sistemas Construtivos

Orientador: Prof. Dr. André Luis Christoforo

São Carlos

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rodrigo Kiyoshi Shirosaki, realizada em 18/02/2019:

Prof. Dr. Andre Luis Christoforo
UFSCar

Prof. Dr. Eduardo Chahud
UFMG

Prof. Dr. Julio Cesar Molina
UNESP

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Eduardo Chahud e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dr. Andre Luis Christoforo

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família
por todo apoio e amor durante esta
jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por me dar amor, suporte e força para conquistar todos os meus objetivos durante a minha vida.

Ao grande amigo Prof. Dr. André Luis Christoforo, responsável por guiar este trabalho com sua maestria e paciência, compartilhando seu conhecimento e tempo para que este projeto se tornasse realidade.

Ao mestre Prof. Francisco Antônio Rocco Lahr, sempre solidário e prestativo, o qual sou eternamente grato pelas oportunidades que me proporcionou e que foi indispensável para a realização deste trabalho.

À mestra Fatí que colaborou imensamente com seu conhecimento e presteza, além de fornecer sua experiência para ajudar a melhorar esta pesquisa.

Agradeço especialmente ao técnico Aparecido Galindo pela amizade, companheirismo e pela alegria contagiante durante o desenvolvimento desta pesquisa. Tenho certeza que o céu está mais feliz com uma alma tão alegre e vibrante quanto a sua, descanse em paz.

A todos os amigos do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira da USP por abrirem as portas deste lugar incrível e me receberem com todo o carinho durante esses anos.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos pela estrutura e ambiente caloroso o qual me trouxe tantas alegrias e conquistas.

Ao Departamento de Engenharia Civil que conta com um corpo docente incrível que me ensinou tanto ao longo destes anos em São Carlos.

À indústria Kehl Ltda. pelo fornecimento da resina utilizada para a confecção dos painéis.

SHIROSAKI, R. K. **CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA TRATADA COM CCB CONFECCIONADOS COM RESINA POLIURETANA MISTA**. 57p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019.

O painel de partículas é um produto engenheirado da madeira, confeccionado a partir da colagem de pequenos pedaços desconstruídos oriundos do processamento da madeira empregando-se uma resina colante. Por se tratar de um material sujeito a ataques de organismos xilófagos, o tratamento da madeira com preservante é essencial para garantir sua durabilidade. O CCB (sais de cromo, cobre e boro) apresenta-se como uma alternativa mais interessante em relação ao CCA (sais de cromo, cobre e arsênio) devido a sua eficiência no combate à degradação e, principalmente, menor toxicidade. A resina poliuretana mista a base de óleos vegetais também é uma escolha ante a resina tradicional a base de ureia, cujo grande problema é a emissão de gás formol durante a prensagem. A madeira do gênero *Pinus* tem densidade baixa e aceita bem o tratamento preservante devido a maior porosidade quando comparada com as madeiras duras (hardwood). Além disso é o segundo gênero mais plantado no Brasil, atrás apenas do *Eucalyptus*. Portanto, este estudo busca analisar a viabilidade técnica de produção de painéis de partículas utilizando madeira de *Pinus* tratada com CCB e resina poliuretana a base de óleos vegetais. Para isso, foram utilizadas três concentrações de resina diferentes (10%, 12% e 15%) combinados com a presença ou não do preservante, obtendo-se 6 tipos de tratamento. Os resultados atenderam aos requisitos normativos dos documentos brasileiro ABNT NBR 14810 (2013) e europeu EN 312 (2003), além de atingir valores próximos e até mesmo superiores às pesquisas similares. Portanto verificou-se a viabilidade técnica da confecção de painéis com os referidos materiais utilizados e a qualidade do produto segundo seu ótimo desempenho.

Palavras-chave: madeira, *Pinus*, painel de partículas, CCB, resina poliuretana.

SHIROSAKI, R. K. **CHARACTERIZATION OF PANELS OF WOOD PARTICLES TREATED WITH CCB MADE WITH MIXED POLYURETHANE RESIN.** 57p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019.

The particleboard is an engineered product of the wood, made from the gluing of small, deconstructed pieces from the wood processing using a bonding resin. Because it is a material subject to attack by xylophagous organisms, the wood treatment with preservative is essential to ensure its durability. The CCB (chromium, copper and boron salts) is a more interesting alternative to CCA (chromium, copper and arsenic salts) due to its efficiency in combating degradation and, especially, lower toxicity. The mixed polyurethane resin based on vegetable oils is also a choice over traditional urea-based resin, whose major problem is the emission of formaldehyde during pressing. The wood of the genus *Pinus* has low density and accepts well the preservative treatment due to the greater porosity when compared with hard wood. It is also the second most planted genus in Brazil, only behind Eucalyptus. Therefore, this study aims to analyze the technical feasibility of particle board production using *Pinus* wood treated with CCB and polyurethane resin based on vegetable oils. For this, three different resin concentrations (10%, 12% and 15%) were used in combination with the presence or absence of the preservative, obtaining 6 types of treatment. The results met the normative requirements of Brazilian documents ABNT NBR 14810 (2013) and European EN 312 (2003), in addition to reaching values close to and even higher than similar surveys. Therefore the technical feasibility of making panels with said materials used and the quality of the product according to its excellent performance were verified.

Keywords: wood, *Pinus*, particle board, CCB, polyurethane resin.

Figura 1: Materiais utilizados na fabricação dos painéis. (a) Partículas de madeira tratada com CCB, (b) armazenagem das partículas.	23
Figura 2: Resina bicomponente a base de óleos vegetais.	24
Figura 3: Balança analítica (à esquerda) e batedeira orbital (à direita).	25
Figura 4: Prensa mecânica (à esquerda) e prensa hidráulica (à direita).	26
Figura 5: Painéis de madeira de Pinus tratada com CCB (à esquerda) e sem tratamento (à direita).	26
Figura 6: Paquímetro digital (à esquerda) e balança analítica (à direita).....	27
Figura 7: Ensaio de inchamento e absorção de água.	29
Figura 8: Ensaio de flexão estática.....	30
Figura 9: Ensaio de tração perpendicular.	31
Figura 10: Ensaio de arrancamento de parafuso de face (à esquerda) e topo (à direita).	32
Figura 11: Resultados das propriedades físicas dos painéis - ρ (a), Abs-2h (b), Abs-24h (c), IE-2h (d), IE-24h (e).	34
Figura 12: Resultados das propriedades mecânicas dos painéis - MOE (a), MOR (b), TP (c), RAPt (d), RAPf (e).	35
Figura 13: Gráfico de efeitos principais do fator preservante nos valores da densidade dos painéis.	36
Figura 14: Gráficos de efeitos principais da absorção de água após duas horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).	37
Figura 15: Gráficos de efeitos principais da absorção de água após vinte e quatro horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).	38
Figura 16: Gráficos de efeitos principais do inchamento em espessura após duas horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).	39
Figura 17: Gráficos de efeitos principais do inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).	40

Figura 18: Gráficos de efeitos principais do módulo de elasticidade em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b).	41
Figura 19: Gráficos de efeitos principais do módulo de resistência em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b).	42
Figura 20: Gráficos de efeitos principais da resistência ao arrancamento de parafuso de topo em função do teor de adesivo (a) e gráfico de interação dos fatores (b).	43
Figura 21: Gráficos de efeitos principais da resistência ao arrancamento de parafuso de face em função do teor de adesivo.	44
Figura 22: Gráficos de efeitos principais da resistência à tração perpendicular em função do teor de adesivo.	44
Figura 23: Gráficos de contorno dos modelos de regressão das propriedades físicas dos painéis - ρ (a), Abs-2h (b), Abs-24h (c), IE-2h (d), IE-24h (e).	46
Figura 24: Gráficos de contorno dos modelos de regressão das propriedades mecânicas dos painéis - MOE (a), MOR (b), RAPt (c), RAPf (d), TP (e).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Delineamento experimental.....	20
Tabela 2: Valores de absorção de água, densidade, MOE e MOR.	21
Tabela 3: Delineamento experimental.....	24
Tabela 4: Fatores da análise estatística.....	33
Tabela 5: Valores extremos dos modelos de regressão.	45
Tabela 6: Resultados e normas técnicas.	49
Tabela 7: Classificação dos painéis segundo a norma ABNT NBR 14810 (2013)....	50
Tabela 8: Classificação dos painéis confeccionados, segundo a norma brasileira...50	
Tabela 9: Propriedades físico-mecânicas de pesquisas similares.	51

1	Introdução.....	12
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos.....	15
2	Revisão bibliográfica	16
2.1	Painéis produzidos com <i>Pinus</i>	16
2.2	Tratamentos preservativos em painéis de partículas	17
2.3	Painéis de <i>Pinus</i> tratado com CCB.....	19
2.4	Conclusão da revisão bibliográfica	21
3	Material e método.....	23
3.1	Materiais.....	23
3.2	Delineamento experimental.....	24
3.3	Produção dos painéis	24
3.4	Caracterização das chapas	27
3.4.1	Densidade.....	28
3.4.2	Inchamento em espessura e absorção de água	28
3.4.3	Módulo de elasticidade e módulo de ruptura	29
3.4.4	Tração perpendicular	30
3.4.5	Arrancamento de parafuso	31
3.5	Análise estatística	32
4	Resultados e discussão	34
4.1	Densidade	36
4.2	Absorção de água	37
4.3	Inchamento em espessura	39
4.4	Módulo de elasticidade e módulo de ruptura	40
4.5	Arrancamento de parafuso.....	42

4.6	Tração perpendicular.....	44
4.7	Valores extremos e considerações	45
4.8	Comparação dos resultados com normas e literatura.....	48
5	Conclusões.....	53
	Referências bibliográficas.....	54

1 Introdução

O Brasil conta com a segunda maior área florestal do mundo com 58% do território coberto por matas nativas e florestas plantadas. Esta última representa 10 milhões de hectares vindo de florestas plantadas com, majoritariamente, os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (IBGE, 2017).

O estudo do comportamento e propriedades de madeiras oriundas de florestas plantadas, bem como de seus derivados vem sendo amplamente desenvolvido por pesquisadores decorrente de fatores como a sustentabilidade e capacidade de produção desta matéria prima renovável. Calil Junior e Dias (1997) destacam a relação resistência/densidade da madeira como cerca de três vezes maior em relação ao aço e dez vezes maior quando comparada ao concreto, além de apresentar um baixo consumo de energia para sua produção, uma vez que utiliza-se majoritariamente a luz solar para sua produção. Visto isso, a madeira torna-se uma opção de grande interesse para aplicações estruturais e como matéria prima para criação de produtos derivados em variadas finalidades.

Para possibilitar o uso da madeira em ambientes sujeitos ao apodrecimento e ataque biológico, o tratamento com algum tipo de substância é indispensável para garantir a proteção do material e aumentar sua vida útil. Segundo Freeman *et al.* (2003), mundialmente, o CCA (arseniato de cobre cromatado) é aplicado em 80% de toda a madeira serrada para propósitos residenciais. Vidal *et al.* (2015) citam o CCA como o preservante mais utilizado no Brasil e discorrem sobre a preocupação com o risco a saúde humana e impacto ambiental. Embora a madeira tratada com CCA tenha sido restringida para aplicações não industriais nos Estados Unidos em 2003 como medida preventiva devido à presença de elemento arsênico, o qual tem efeito carcinogênico, no Brasil ainda não há qualquer tipo de restrição ao uso de madeira tratada com este produto. O desenvolvimento de novos produtos para tratamento é lento devido ao longo período exigido de pesquisa para determinar viabilidade técnica e econômica (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006). Tendo em vista esta preocupação, o CCB (Borato de Cobre Cromatado) é um dos preservantes utilizados no condicionamento e uma alternativa menos tóxica ao CCA, além de conferir excelentes propriedades mecânicas à madeira (BERTOLINI *et al.*, 2013).

Com a responsabilidade crescente na questão do desenvolvimento sustentável, tópicos como a reutilização de resíduos, redução do consumo de matérias prima e o aproveitamento de recursos renováveis, os produtos engenheirados de madeira ganham destaque por apresentar ótimo aproveitamento de matéria prima e possibilidade de aplicação de resíduos diversos em sua composição (VARANDA *et al.*, 2013). Dados do IBÁ (2016) apontam uma geração de 47,8 milhões de toneladas de resíduos anuais vindos da atividade florestal (33,7 milhões de toneladas) e industrial (14,1 milhões de toneladas). A atividade florestal destina 99,7% deste montante à proteção e adubação do solo, enquanto a indústria encaminha 66% para a geração de energia, 30,5% reutilizados por empresas do setor florestal e outros setores industriais e uma pequena parcela (3,5%) para aterros. Visto o expressivo montante de resíduos de madeira gerados pelo setor, é possível destinar estes rejeitos para aplicações mais nobres e de maior valor agregado como os produtos derivados da madeira, em particular, os painéis.

Dentre os derivados da madeira, os painéis particulados têm grande potencial no que diz respeito à sustentabilidade. O aproveitamento de até 100% da tora maciça e a capacidade de reaproveitar materiais aplicando em sua composição, resíduos diversos como a casca de aveia, fibras de coco, dentre outros, são incentivos para o estudo deste tipo de produto (NASCIMENTO, LAHR e CHRISTOFORO, 2015). Além disso, possuem várias aplicações que vão desde a fabricação de móveis, até a produção de telhas, pisos e divisórias para a indústria da construção civil.

Os painéis de partículas de madeira são concebidos ao prensar sob temperatura e pressão, uma mistura composta de partículas de madeira, uma resina com função ligante entre o meio sólido e eventualmente algum aditivo. O produto final é fisicamente mais homogêneo que a madeira maciça, onde existem fibras direcionadas e imperfeições naturais causando discrepâncias em suas propriedades (PAES *et al.*, 2011).

A resina é um dos componentes principais na produção dos painéis por atribuírem a eles propriedades físico-mecânicas variáveis conforme sua composição e concentração na mistura com as partículas. A utilização do adesivo ureia-formaldeído é comum devido ao baixo custo, alta velocidade de cura, resistência a chama e pouco desenvolvimento de cor (LESSMANN, 2008). Porém, a emissão de gás formol durante a etapa de prensagem utilizando a resina à base de ureia, estimula

a procura por opções não agressivas à saúde do ser humano (FIORELLI *et al.*, 2014). Uma das alternativas é a resina poliuretana à base de mamona, oriunda de um recurso natural e renovável que não apresenta agressividade ao meio ambiente e ao ser humano, além de ser classificada como impermeável (DIAS, 2005).

Seguindo esta visão sustentável, a resina poliuretana mix vem sendo desenvolvida como alternativa utilizando como base, produtos oriundos de recursos renováveis como a mamona e outros vegetais.

O desenvolvimento de produtos com materiais renováveis e sustentáveis visa ocupar um nicho específico no setor industrial, o abastecimento de uma demanda local através de pequenos produtores de materiais derivados da madeira. Visto que as resinas alternativas têm um preço relativamente elevado devido ao baixo volume produzido atualmente, quando comparadas às resinas tradicionais, o incentivo à prática de fabricação de derivados da madeira utilizando este tipo de adesivo produzido por indústrias locais levaria a uma redução dos preços devido ao aumento do volume de produção.

Apresentado o potencial para elaborar um material sustentável com uma vasta diversidade de aplicações, este trabalho teve a finalidade de estudar a viabilidade de produção de painéis particulados com resina poliuretana mista, a qual ainda não foi aplicada na fabricação de painéis de partículas.

1.1 Justificativa

A utilização de materiais renováveis como a madeira e a possibilidade de um melhor aproveitamento destes, contribuem para valorizar o estudo de painéis aglomerados, somado à capacidade de juntar resíduos oriundos do processo de beneficiamento da própria madeira e de diversas outras fontes como o bagaço de cana de açúcar, casca de aveia e fibras de coco (FIORELLI *et al.*, 2012; MENDES; MENDES; ABRANCHES, 2010; VARANDA *et al.*, 2013).

Junto à utilização de resíduos de madeira, a composição natural da resina complementa a possibilidade de confecção de um produto com alto valor agregado do ponto de vista sustentável, capaz de empregar diversos recursos renováveis.

1.2 Objetivos

Verificar a viabilidade técnica da produção de painéis de partículas com resina poliuretana bicomponente mista em diferentes concentrações, além de analisar sua interação com a madeira tratada de *Pinus*.

1.2.1 Objetivos específicos

- Confeccionar painéis aglomerados com diferentes teores de resina e partículas de madeira tratadas com CCB e *in natura*;
- Ensaar os corpos de prova confeccionados segundo determinações do documento normativo ABNT NBR 14810:2013;
- Analisar a interação entre a presença de tratamento preservante e várias concentrações de resina;
- Comparar os valores obtidos com os documentos normativos para determinar a aplicabilidade dos painéis produzidos.

2 Revisão bibliográfica

Este item contemplará as revisões de literatura de conteúdo relevante para o desenvolvimento da pesquisa, bem como demonstrar a existência de estudos nacionais e internacionais sobre a caracterização e comportamento dos painéis de partículas e seus componentes.

2.1 Painéis produzidos com *Pinus*

Silva *et al.* (2016) produziram e avaliaram painéis de partículas de média densidade fabricados com resíduos de madeira de *Pinus spp.* e resina ureia-formaldeído. Foram delineados três tipos de tratamento variando a composição utilizando: painéis produzidos com resíduos de folha, resíduos do processamento da madeira e por último a combinação de ambos. Para os parâmetros módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), apenas o tratamento com a combinação dos materiais alcançou a exigência da norma brasileira (ABNT NBR 14810:2014) para painéis P2 de uso interno em condições secas.

Guimarães Junior *et al.* (2013) estudaram o efeito do teor de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de madeira de *Pinus oocarpa* nas concentrações de 0; 1; 1,5; e 2%. Os resultados indicaram que o aumento da porcentagem de parafina proporcionou uma melhoria na estabilidade dos painéis e aumentou a resistência à compressão, embora isso não tenha acontecido para MOE, MOR e tração perpendicular às fibras.

Iwakiri *et al.* (2017) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de *Pinus taeda*. O material veio do processamento de galhos, ponteiros, tocos e raízes da árvore e depois foi misturado com partículas industriais em diferentes proporções. A resina utilizada foi a ureia formaldeído na quantidade de 8% sobre a massa seca das partículas, catalisada por sulfato de amônia a 2% e 1% de emulsão de parafina. Os resultados do ensaio de tração perpendicular atenderam aos requisitos da norma EN 312 e a avaliação geral das propriedades físicas e mecânicas indicam a possibilidade da produção de painéis utilizando resíduos em mistura com partículas industriais na proporção de até 50%.

Keskin, Kucuktuek e Guru (2015) produziram painéis a partir de madeira do gênero *Pinus* e casca de papoula, combinadas em cinco tratamentos, utilizando como

adesivo a ureia-formaldeído na concentração de 8% para a camada interna e 10% para a externa. Foi observado que os painéis com até 25% de casca de papoula tiveram os requisitos mecânicos e físicos atendidos segundo a norma EN 312, para uso em ambientes internos e secos. Além disso, a casca de papoula gerou uma diminuição na emissão de formaldeído e aumento na propriedade retardadora do fogo.

Painéis produzidos com rejeito UKP/BKP (*Unbleached Kraft Pulp/Bleach Kraft Pult*), provenientes da indústria da celulose, e resíduos de serraria da madeira de *Pinus elliottii*, foram estudados por Gama *et al.*, (2010). A colagem foi realizada com ureia-formaldeído, parafina e sulfato de amônia nas concentrações de 12%, 1,5% e 1%, respectivamente, e o delineamento experimental escolheu variar as frações de rejeito em substituição às partículas de madeira. Apenas os parâmetros de tração perpendicular e a resistência ao arrancamento de parafuso foram avaliados neste estudo, sendo que para a primeira propriedade todas as frações atenderam a norma brasileira ABNT NBR 14810:2006, enquanto para o arrancamento de parafuso as frações de 25% e 50% de UKP/BKP levaram a aumentos significativos.

Paes *et al.* (2011) analisaram o efeito da combinação da pressão e temperatura durante a etapa de prensagem, na qualidade dos painéis produzidos. Para a confecção dos painéis foram utilizadas 1200 gramas de partículas de *Pinus elliottii* e resina derivada do óleo de mamona do tipo bicomponente no teor de 16%. Concluíram que o emprego da pressão de 3,0 MPa e temperatura de prensagem de 90°C proporcionaram melhor qualidade, sendo a temperatura, dentre as variáveis analisadas, preponderante na qualidade.

Com base nos estudos elencados anteriormente, fica claro a existência de pesquisas na área de painéis particulados e o emprego de rejeitos de diversas indústrias em sua produção. Essa possibilidade destaca o potencial sustentável ao agregar valor a esses materiais com a aplicação de resíduos originalmente descartados.

2.2 Tratamentos preservantes em painéis de partículas

Bertolini *et al.* (2014) verificaram a viabilidade de produção de chapas com partículas de *Pinus sp.* tratadas com sais de cromo, cobre e arsênio (CCA), em associação com material da mesma espécie de madeira sem preservantes, além de

alterar o teor de adesivo poliuretano à base de mamona. Para o inchamento em espessura (2h), foi verificado um desempenho superior ao adicionar partículas tratadas, e quando utilizado esse insumo na mesma proporção que a madeira não tratada, foram obtidos os melhores resultados na adesão interna. Para o MOE e MOR, as variações da combinação de partículas não influenciaram nos respectivos valores. De forma geral, os painéis atenderam aos requisitos técnicos referentes aos ensaios realizados neste estudo, mostrando a possibilidade do emprego de resíduos de madeira tratada na fabricação de chapas aglomeradas.

Bayatkashkoli *et al.* (2017) compararam o desempenho de painéis tratados com ACQ (*alkaline copper quat*), sais de BFCA (*boron-fluorine-chromium-arsenic*) e CTL (*chlorotalonil*) contra o ataque de cupins (*Anacanthotermes vagans* e *Microcerotermes diversus*). Para tal, foram realizados ensaios para determinar o grau de degradação devido ao ataque de cupins conforme especificado na ASTM D 1758-06. Os painéis foram confeccionados com partículas de *Pistacia vera L.*, 10% de ureia-formaldeído e adição de 2% de cloreto de amônia. Os preservantes foram misturados à resina e depois aplicados em forma de spray sobre a superfície das chapas. O BFCA é conhecido por sua toxicidade ao meio ambiente e aos seres humanos. Por outro lado o ACQ oferece menos riscos devido a sua composição. Os resultados mostraram que o CTL promoveu um fortalecimento, mas não teve efeitos positivos contra os cupins. Os painéis tratados com ACQ não apresentaram mudança nas propriedades mecânicas, mas ofereceram a melhor proteção contra o ataque biológico. Os corpos de prova tratados com BFCA tiveram o pior desempenho mecânico, porém a resistência contra cupins foi a mesma dos painéis tratados com ACQ. De maneira geral, o tratamento com ACQ apresentou melhor performance contra o ataque biológico, como também melhorou as propriedades mecânicas.

Tascioglu *et al.* (2014) examinaram a resistência à decomposição à cupins, além dos efeitos de um processo intenso de lixiviação em painéis. Estes foram produzidos com partículas mistas de espécies de madeira oriundas de materiais de construção demolidos e uma resina pMDI (*polymeric diphenylmethane diisocyanate*) no teor de 10% em relação à massa seca das partículas. O preservante testado foi o borato de zinco na concentrações de 0; 1; 1,5 e 2% relativos à massa de madeira. O borato de zinco tem um histórico comercial devido ao seu baixo custo, eficácia contra ataques biológicos, baixa toxicidade a mamíferos, mínimo impacto ambiental e alta

compatibilidade na maioria dos processos de fabricação. As espécies responsáveis para os ensaios de ataque biológico, segundo a norma japonesa JIS K 1571 (2004), foram os fungos *Trametes versicolor* e *Fomitopsis palustris*, e os cupins *Cryptomeria japônica* e *Coptotermes formosanus*. O estudo concluiu a viabilidade do emprego deste preservante na proteção contra a ação de fungos e cupins, sem prejuízo às propriedades mecânicas. O borato de zinco mostrou-se resistente à lixiviação intensa, já que não foi verificado um aumento na perda de massa e taxas de consumo.

Bayatkashkoli *et al.* (2016) verificaram a resistência de painéis tratados com saliciatos de cobre e zinco ao ataque de cupins (*Anacanthotermes vagans*), produzidos com partículas de madeira de *Pistacia vera* L., 10% de resina ureia-formaldeído e 2% de cloreto de amônia. O saliciato de cobre apresentou, depois de 18 meses de exposição, a menor perda de massa (4,7%), seguido do saliciato de zinco (11,4%) e do controle não tratado (16,3%). Concluiu-se que o saliciato de cobre apresentou melhor desempenho contra o ataque dos cupins e as propriedades MOR e adesão interna tiveram um pequeno decréscimo devido ao tratamento. Contudo, os valores ainda estiveram de acordo com os limites normativos e o saliciato de cobre pode ser recomendado com preservante para combater o ataque do cupim *Anacanthotermes vagans*.

2.3 Painéis de *Pinus* tratado com CCB

Bertolini *et al.* (2013) produziram painéis com madeira tratada de *Pinus sp.* com CCB, e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. Para estudar o comportamento dos painéis com diferentes tratamentos e o efeito do teste de envelhecimento artificial acelerado sobre estas combinações. O delineamento experimental (Tabela 1) contou com 8 tipos de tratamento, variando-se a quantidade de partículas (1300 e 1400 g), o teor de adesivo (12 e 15%) e os tempos de prensagem (10 e 12 minutos). Foram analisados os seguintes parâmetros: densidade, absorção de água, módulo de elasticidade e módulo de resistência, realizados antes e depois do teste de envelhecimento artificial acelerado.

Tabela 1: Delineamento experimental.

Tratamento	Composição		
	Partículas (g)	Resina (%)	Tempo de prensagem (minutos)
A	1300	12	10
B	1300	12	12
C	1300	15	10
D	1300	15	12
E	1400	12	10
F	1400	12	12
G	1400	15	10
H	1400	15	12

Fonte: Bertolini *et al.*, 2013.

Os resultados dos ensaios (Tabela 2) mostraram que para a absorção de água, tanto a quantidade de partículas quanto a de resina, foram variáveis influentes nesta propriedade, sendo que tratamentos com maior massa de partículas e menor teor de adesivo, levaram a um maior teor de umidade no painel. A densidade foi estatisticamente equivalente em todos os tratamentos, sendo estes classificados como painéis de alta densidade.

Em relação ao MOE, observaram que uma quantidade maior de partículas e de resina levaram a um melhor desempenho, obtendo-se um valor máximo de 2911 MPa para o tratamento G. Os valores de MOR foram aproximadamente 50% melhores em comparação aos requisitos normativos ANSI A208.1:1999, ABNT NBR 14810:2006, CS236-66:1968 e EN 312:2003. O menor valor para o MOR (24 MPa) foi suficiente para aplicação em ambientes externos segundo os critérios americanos e canadenses (20,5 e 23,6 MPa respectivamente).

Tabela 2: Valores de absorção de água, densidade, MOE e MOR.

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Absorção de água (%)	Densidade (g/cm ³)
A	25	2304	7,4	0,88
B	24	2537	7,53	0,9
C	26	2474	7,12	0,9
D	26	2553	7,01	0,94
E	28	2670	7,81	0,89
F	28	2654	7,91	0,97
G	29	2911	7,51	0,95
H	28	2764	7,54	0,91

Fonte: Bertolini *et al.*, 2013.

Os autores concluíram que os tratamentos com quantidade maior de partículas e menor de resina, levaram a painéis com maior teor de umidade e todos os tratamentos foram classificados como sendo de alta densidade. Quanto às propriedades mecânicas, todos ultrapassaram os requisitos normativos referentes ao MOR e foi observado que a maior quantidade de insumos na produção resultou em maiores valores de MOE.

Por se tratar de uma pesquisa similar ao que está proposto neste trabalho, é importante a comparação direta dos valores obtidos por Bertolini *et al.* (2013) com os valores encontrados nos ensaios realizados descritos neste texto. A pesquisa citada anteriormente utilizou madeira de *Pinus* tratada com CCB e resina poliuretana à base de mamona. Já as partículas dos painéis confeccionados apresentados neste texto (também de madeira de *Pinus* tratada com CCB), foram aglutinadas com resina poliuretana a base de óleos vegetais mistos. Embora os autores tenham estudado a variação dos parâmetros de produção, a pesquisa apresentada neste texto buscou avaliar apenas o comportamento da resina, nunca utilizada antes na confecção de painéis, em diferentes concentrações e sua interação com o tratamento preservante.

2.4 Conclusão da revisão bibliográfica

O emprego de madeiras de reflorestamento na produção de painéis é muito comum no Brasil devido à grande disponibilidade de material no território nacional. O gênero *Eucalyptus* é outra madeira muito utilizada na fabricação de MDF, MDP e na indústria de celulose. Existem diversas pesquisas sobre a aplicação deste gênero na confecção de painéis (MENDES *et al.*, 2010; IWAKIRI *et al.*, 2000; SHIROSAKI *et al.*,

2019), que mostram o potencial da utilização de madeira de reflorestamento para este fim.

As resinas responsáveis pela colagem das partículas possuem diversas formulações e particularidades. Como observado nas pesquisas apresentadas, existe uma grande variedade de resinas compatíveis para a produção de painéis. A grande desvantagem da resina ureia formaldeído é a emissão de formol durante a prensagem, além de possuir baixa resistência à ação da água. Por isso, a aplicação de produtos alternativos que não emitem gases nocivos e com uma performance superior contra a umidade, tornam-se interessantes. Os adesivos poliuretanos em geral, apresentam maior resistência à água e não emitem o gás formol durante a prensagem (DIAS, 2005). A resina poliuretana a base de mamona possui cura a frio, porém estudos realizados para avaliar sua aplicação como agente aglutinante na fabricação de painéis, sugerem que a qualidade das chapas é superior quando são prensadas sob temperatura (na faixa dos 90 °C) e pressão. O adesivo a base de óleos vegetais mistos possui uma composição similar ao de óleo de mamona, portanto, para efeito comparativo, os parâmetros de produção foram alinhados com pesquisas anteriores semelhantes com a resina poliuretana a base de mamona.

O estudo do tratamento da madeira é realizado mundialmente visto que a proteção contra os agentes xilófagos é de grande importância para prolongar a vida útil do material. Além disso, é importante buscar por novas substâncias que atuam na preservação da madeira para oferecer alternativas menos agressivas ao meio ambiente e ao ser humano.

3 Material e método

Os materiais, equipamentos e metodologias apresentados nos itens subsequentes foram utilizados para a confecção dos objetos de estudo deste trabalho.

3.1 Materiais

Para a preparação dos painéis, foram utilizadas partículas de madeira de *Pinus sp* tratados em autoclave com preservante CCB (Figura 1) e partículas da mesma espécie sem tratamento, armazenadas no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos, com teor de umidade próximo de 10% e tamanho entre 0,8 mm e 2,8 mm. A massa seca definida para o experimento foi de 640 gramas para cada painel.

Figura 1: Materiais utilizados na fabricação dos painéis. (a) Partículas de madeira tratada com CCB, (b) armazenagem das partículas.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Para a aglutinação entre as partículas, escolheu-se aplicar a resina poliuretana bicomponente (AG101) derivada da mistura de óleos vegetais (Figura 2) fornecido pela Indústria Kehl Ltda. O adesivo é composto por um polioliol a base de vegetais de densidade $1,0 \text{ g/cm}^3$ e um isocianato com mistura 4,4'difenilmetano diisocianato, de densidade de aproximadamente $1,24 \text{ g/cm}^3$. Por tratar-se de uma resina recentemente desenvolvida, não existem estudos a respeito de suas propriedades e sua eficácia como resina para confecção de painéis.

Figura 2: Resina bicomponente a base de óleos vegetais.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

3.2 Delineamento experimental

Visando estudar o comportamento do painel em diversas combinações dos parâmetros de produção e verificar a viabilidade de confecção de painéis com uma quantidade menor de adesivo, buscando assim uma situação mais econômica, o delineamento experimental foi definido e organizado na tabela 3.

Tabela 3: Delineamento experimental.

Tratamento	Massa de partículas de madeira (g)	Teor de adesivo (%)	Massa do adesivo (g)
A	640	10	64,0
B	640	10	64,0
C	640	12	76,8
D	640	12	76,8
E	640	15	96,0
F	640	15	96,0

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Os tratamentos A, C e E foram confeccionados com partículas de madeira tratadas com preservante CCB, enquanto os B, D e F tiveram suas partículas compostas por madeira não tratada. Foi definido a produção de 5 chapas para cada tipo de tratamento, totalizando 30 chapas.

3.3 Produção dos painéis

O processo iniciou-se pela pesagem das partículas e da resina em uma balança semi analítica OHAUS Adventurer AR3130 (Figura 3a) para a obtenção da massa das

partículas de madeira e da massa de resina para cada teor de adesivo. Os dois componentes da resina foram misturados na proporção 1:1, após pesagem e posteriormente adicionados juntos às partículas. Em seguida, a mistura foi passada para a batedeira orbital Lieme (Figura 3b) durante 5 minutos para a homogeneização, seguida pela homogeneização manual para corrigir qualquer acúmulo de resina.

Figura 3: Balança analítica (à esquerda) e batedeira orbital (à direita).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

A mistura foi então levada para a formação do colchão em uma prensa mecânica manual de fabricação própria (Figura 4a), sob pressão de 0,01 MPa e depois para a prensagem final a 3,5 MPa e 100°C durante 10 minutos na prensa Marconi Modelo MA 098/50 (Figura 4b).

Figura 4: Prensa mecânica (à esquerda) e prensa hidráulica (à direita).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

O processo resultou em um painel com dimensões 28 cm x 28 cm e espessura nominal de 10 mm, as quais foram acondicionada por 72 horas para permitir a cura completa do adesivo.

Figura 5: Painéis de madeira de *Pinus* tratada com CCB (à esquerda) e sem tratamento (à direita).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

3.4 Caracterização das chapas

A norma brasileira ABNT NBR 14810:2014 define o procedimento para a caracterização dos painéis através de ensaios para determinar valores que representam seu desempenho e designam sua classificação e capacidade de aplicação em diferentes condições de uso. Deste modo, este trabalho aborda os seguintes ensaios para a determinação das propriedades:

- Propriedades físicas: densidade (D), inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA).
- Propriedades mecânicas: módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), Tração perpendicular (TP), arrancamento de parafuso de superfície (APS) e arrancamento de parafuso de topo (APT).

Com os valores obtidos é possível a comparação com os documentos normativos nacionais e internacionais para painéis de partículas, além de trabalhos semelhantes realizados anteriormente.

Para aferição das dimensões dos corpos de prova, foi utilizado o paquímetro digital Starrett 799 (0,01 mm) (Figura 6a) e para pesagem a balança semi analítica OHAUS Adventurer AR3130 (0,001 g) (Figura 6b).

Figura 6: Paquímetro digital (à esquerda) e balança analítica (à direita).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

A seguir, está descrita a metodologia e equipamentos utilizados para a realização de cada ensaio.

3.4.1 Densidade

A densidade foi calculada através da relação massa/volume, obtida através da pesagem em balança semi analítica (0,001 g) e medição com paquímetro Starrett 799 (0,01 mm) das dimensões reais de amostras com dimensões nominais de 50 x 50 x 10 mm. Com os valores, foi possível calcular a densidade através da seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

- ρ é a densidade;
- m é a massa aferida na balança;
- v é o volume calculado através da medição das dimensões.

3.4.2 Inchamento em espessura e absorção de água

As amostras e dimensões nominais 50 x 50 x 10 mm foram imersas em um recipiente com água na temperatura ambiente, as quais tiveram sua espessura e massa medidas antes da imersão e depois de um período de 2 e 24 horas. Para permitir a imersão total, foi posicionado um peso sob os corpos de prova. A diferença entre os valores obtidos representou o valor de inchamento em espessura e absorção de água do material, como mostrado a seguir:

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \cdot 100 \quad (2)$$

- A é a absorção de água;
- M_1 é a massa após a imersão;
- M_0 é a massa antes da imersão.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \cdot 100 \quad (3)$$

- I é o inchamento;
- E_1 é a espessura após a imersão em água;
- E_0 é a espessura antes da imersão.

Figura 7: Ensaio de inchamento e absorção de água.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

3.4.3 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Os valores de MOE e MOR foram obtidos através do ensaio de flexão estática três pontos realizado em uma Máquina de Ensaio Universal EMIC, com capacidade de até 30 kN. Os corpos de prova tiveram dimensões nominais de 250 mm de comprimento por 50 mm de largura e 10 mm de espessura. Para o cálculo das propriedades, utilizou-se as equações 4 e 5:

$$MOE = \frac{P \cdot D^3}{4 \cdot d \cdot B \cdot E^3} \quad (4)$$

- MOE é o módulo de elasticidade;
- P é a carga aplicada no limite de proporcionalidade;
- D é a distância entre os apoios;
- d é o deslocamento obtido no ponto de aplicação da carga;
- B é a largura do corpo de prova;
- E é a espessura do corpo de prova.

$$MOR = \frac{1,5 \cdot P_m \cdot D}{B \cdot E^2} \quad (5)$$

- MOR é o módulo de ruptura;
- P_m é a carga máxima aferida;
- D é a distância entre os apoios;
- B é a largura do corpo de prova;

- E é a espessura do corpo de prova.

Figura 8: Ensaio de flexão estática.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

3.4.4 Tração perpendicular

O ensaio consistiu na colagem do corpo de prova com dimensões aferidas por um paquímetro digital a um aparato metálico com uma resina epóxi bicomponente Araldite na proporção 1 parte de endurecedor para 1,2 de resina. Após 3 dias, foram levados à Máquina de Ensaio Universal AMSLER com capacidade de até 250 kN, para o ensaio. Posicionado o corpo de prova, foi aplicada uma força de tração direcionada perpendicularmente à face do painel, levando-o até a ruptura. A tração perpendicular foi medida pela seguinte equação:

$$TP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

- TP é a tração perpendicular;
- P é a carga de ruptura na tração;
- S é a área da superfície do corpo de prova.

Figura 9: Ensaio de tração perpendicular.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

3.4.5 Arrancamento de parafuso

O ensaio de arrancamento de parafuso foi feito para duas configurações de posicionamento do parafuso no painel, sendo posicionados superficialmente (face) e na lateral (topo). Os corpos de prova tem dimensões 50 x 50 x 10 mm. O parafuso utilizado foi o No. 10 (25 mm), sendo a ancoragem feita no centro da superfície e borda dos painéis. Para o arrancamento de face, o parafuso é inserido na chapa até sua ponta estiver visível do outro lado. Para o arrancamento de topo, o parafuso é inserido por aproximadamente 15 mm. Ao montar o aparato na Máquina de Ensaio Universal AMSLER, o ensaio consistiu em medir a força necessária para arrancar o parafuso do painel, sendo esta o valor imediato da propriedade de arrancamento.

Figura 10: Ensaio de arrancamento de parafuso de face (à esquerda) e topo (à direita).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

3.5 Análise estatística

Para avaliar os dados obtidos nos ensaios, escolhe-se realizar uma análise de variância (ANOVA) em conjunto com o teste de Tukey. Neste caso, a ANOVA consiste em verificar a influência dos fatores adesivo e preservante, além da interação entre ambos. O teste de Tukey é aplicado para analisar a diferença entre as médias, ou seja, se as médias obtidas para cada tratamento são estatisticamente diferentes, mesmo quando não possuem valores iguais. A partir destas análises, verifica-se a influência de cada parâmetro avaliado e sua significância, bem como dizer qual foi o tratamento que obteve melhor desempenho.

Os fatores investigados nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis consistiram no uso ou não do preservante [Pre] CCB e nos teores de adesivo [Ad] (10, 12, 15%), o que resultou em seis tratamentos experimentais distintos, explicitados na Tabela 4.

Tabela 4: Fatores da análise estatística.

Tratamento	Ad	Pre
1 (A)	10%	CCB (1)
2 (B)	10%	Sem (0)
3 (C)	12%	CCB (1)
4 (D)	12%	Sem (0)
5 (E)	15%	CCB (1)
6 (F)	15%	Sem (0)

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

As propriedades físicas avaliadas consistiram na densidade (ρ), absorção de água após (Abs-2h) e 24 horas (Abs-24h) e inchamentos em espessura após 2 (IE-2h) e 24 horas (IE-24h) de imersão em água, sendo o módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura na flexão estática (MOR), tração perpendicular (TP) e resistências ao arrancamento de parafuso de face (RAPf) e de topo (RAPt) as propriedades mecânicas.

Para os ensaios de arrancamento de parafuso foram utilizadas 6 amostras para cada tratamento, 15 para os ensaios de flexão e 8 amostras para cada uma das demais propriedades, o que resultou em 540 determinações experimentais.

Modelos de regressão (Equação 7) fundamentados na análise de variância (ao nível de 5% de significância) foram utilizados com o propósito de relacionar as propriedades físicas e mecânicas como função dos dois fatores avaliados, possibilitando investigar a significância do modelo, dos fatores isolados e da interação assim como do tratamento que conduziu aos valores extremos das propriedades.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ad + \beta_2 \cdot Pre + \beta_3 \cdot Ad \cdot Pre + \varepsilon \quad (7)$$

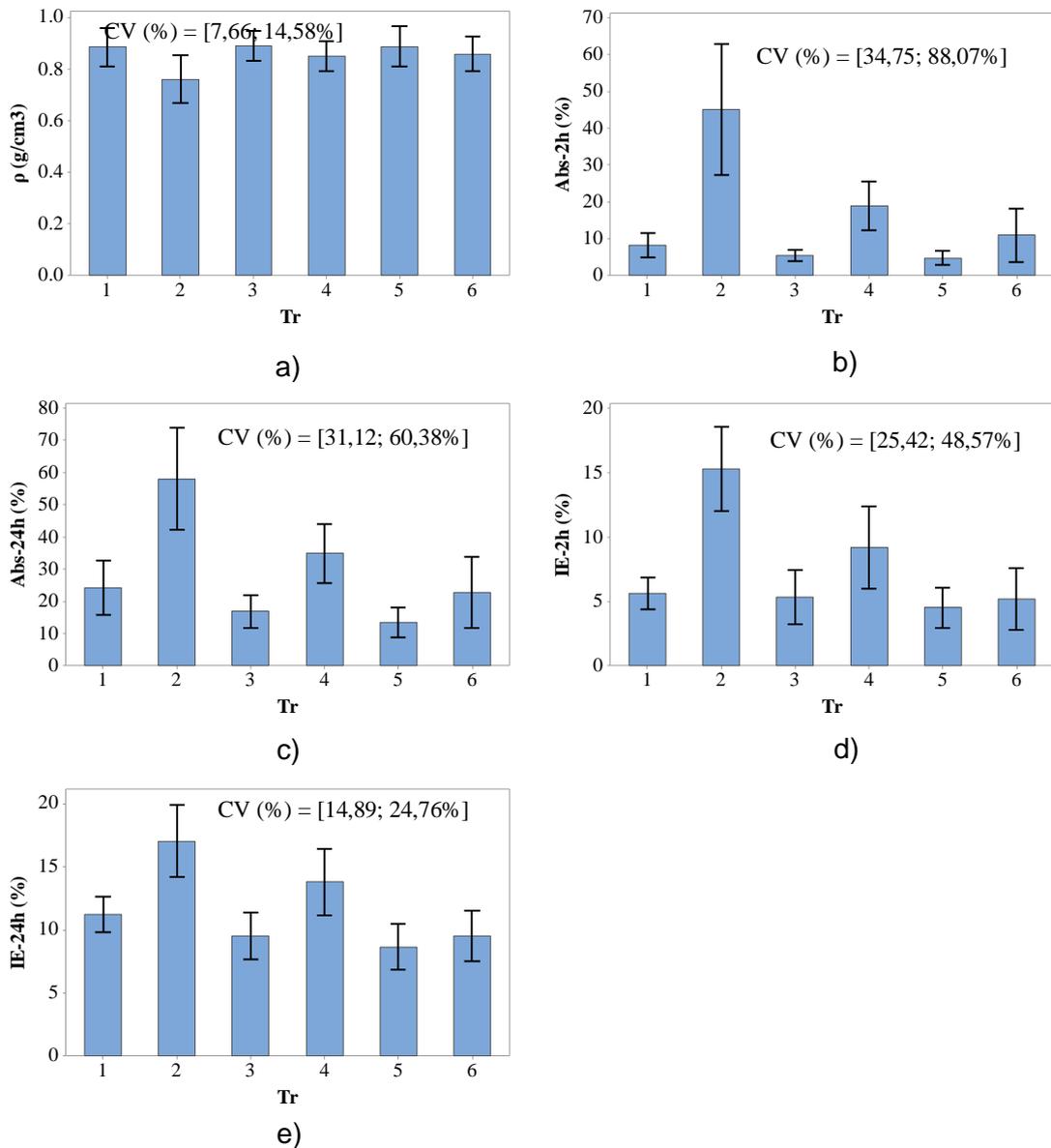
Da Equação 7, Y denota a variável dependente (propriedades físicas e mecânicas), β_i consistem nos coeficientes ajustados pelo método dos mínimos quadrados e ε é o erro aleatório, sendo a qualidade dos ajustes medida pelo coeficiente de determinação (R^2).

De forma complementar, o teste de Tukey (ao nível de 5% de significância) foi utilizado com o propósito de avaliar principalmente as diferenças nos teores de adesivo (10, 12 e 15%), visto que a ANOVA do modelo de regressão não possibilita julgar, se considerado significativa, a diferença entre 10, 12 e 15% de adesivo nas propriedades.

4 Resultados e discussão

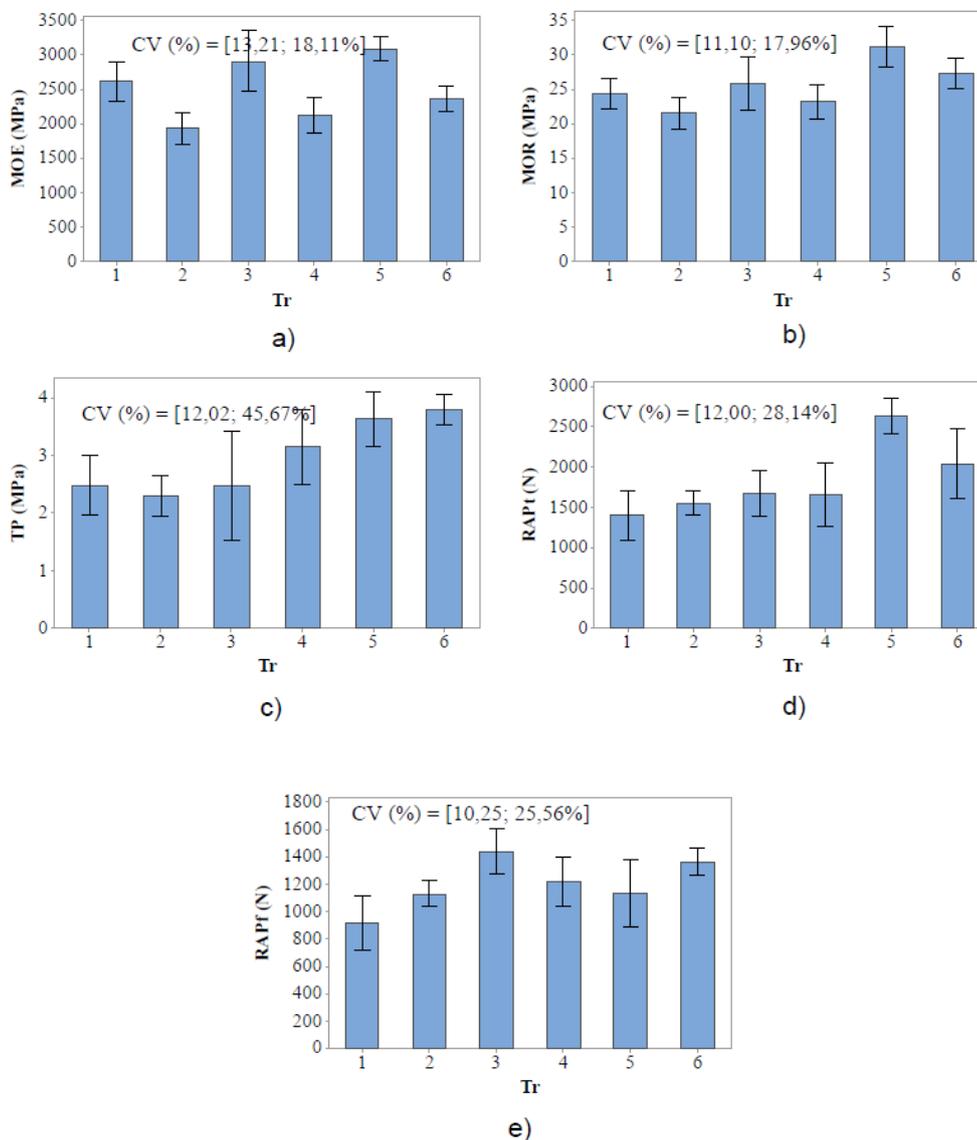
Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os valores médios, os intervalos de confiança da média (com 95% de confiabilidade) e os valores extremos dos coeficientes de variação (CV) das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, respectivamente.

Figura 11: Resultados das propriedades físicas dos painéis - ρ (a), Abs-2h (b), Abs-24h (c), IE-2h (d), IE-24h (e).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Figura 12: Resultados das propriedades mecânicas dos painéis - MOE (a), MOR (b), TP (c), RAPt (d), RAPf (e).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Os modelos de regressão obtidos para a estimativa das propriedades físicas são apresentados nas Equações de 8 a 12, enquanto que os mecânicos são expressos pelas Equações 13 a 17, encontrando-se sublinhados os termos considerados significativos pela ANOVA (5% de significância).

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,599 + 0,018 \cdot \text{Ad} + 0,28 \cdot \underline{\text{Pre}} - 0,018 \cdot \text{Ad} \cdot \text{Pre} \quad [\text{R}^2 = 20,55\%] \quad (8)$$

$$\text{Abs-2h (\%)} = 105,3 - 6,51 \cdot \underline{\text{Ad}} - 91,0 \cdot \underline{\text{Pre}} + 5,84 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 62,52\%] \quad (9)$$

$$\text{Abs-24h (\%)} = 122,4 - 6,80 \cdot \underline{\text{Ad}} - 78,5 \cdot \underline{\text{Pre}} + 4,71 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 62,06\%] \quad (10)$$

$$\text{IE-2h (\%)} = 34,04 - 1,961 \cdot \underline{\text{Ad}} - 26,12 \cdot \underline{\text{Pre}} + 1,735 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 64,21\%] \quad (11)$$

$$\text{IE-24h (\%)} = 31,94 - 1,498 \cdot \underline{\text{Ad}} - 16,02 \cdot \underline{\text{Pre}} + 1,001 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 61,38\%] \quad (12)$$

$$\text{MOE (MPa)} = 1079 + 85,8 \cdot \underline{\text{Ad}} + 643 \cdot \underline{\text{Pre}} + 6,7 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 68,72\%] \quad (13)$$

$$\text{MOR (MPa)} = 9,60 + 1,167 \cdot \underline{\text{Ad}} + 0,28 \cdot \underline{\text{Pre}} + 0,233 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 54,21\%] \quad (14)$$

$$\text{RAPt (N)} = 513 + 100,4 \cdot \underline{\text{Ad}} - 1730 \cdot \underline{\text{Pre}} + 152,2 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 55,63\%] \quad (15)$$

$$\text{RAPf (N)} = 661 + 47,0 \cdot \underline{\text{Ad}} + 128 \cdot \underline{\text{Pre}} - 16,3 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 42,10\%] \quad (16)$$

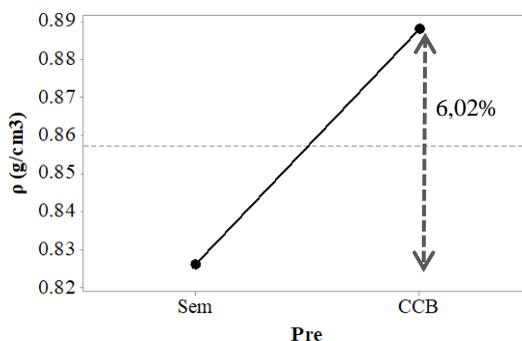
$$\text{TP (MPa)} = - 0,55 + 0,29 \cdot \underline{\text{Ad}} + 0,43 \cdot \underline{\text{Pre}} - 0,051 \cdot \underline{\text{Ad} \cdot \text{Pre}} \quad [\text{R}^2 = 52,63\%] \quad (17)$$

Dos modelos de regressão, destaca-se que todos foram considerados significativos pela ANOVA (P-valor<0,05), e isso implicou que mesmo pela grande variabilidade dos resultados, o que refletiu diretamente na qualidade do ajuste e, conseqüentemente no coeficiente de determinação, que os modelos captaram tendência de comportamento entre as propriedades estimadas e os fatores avaliados.

4.1 Densidade

Da Equação 8, a densidade foi afetada de forma significativa apenas pelo uso do preservante CCB, em que o uso do preservante contribuiu no aumento (6,02%) dos valores dessa propriedade. A Figura 13 ilustra o gráfico de efeitos principais da densidade como função do fator preservante.

Figura 13: Gráfico de efeitos principais do fator preservante nos valores da densidade dos painéis.



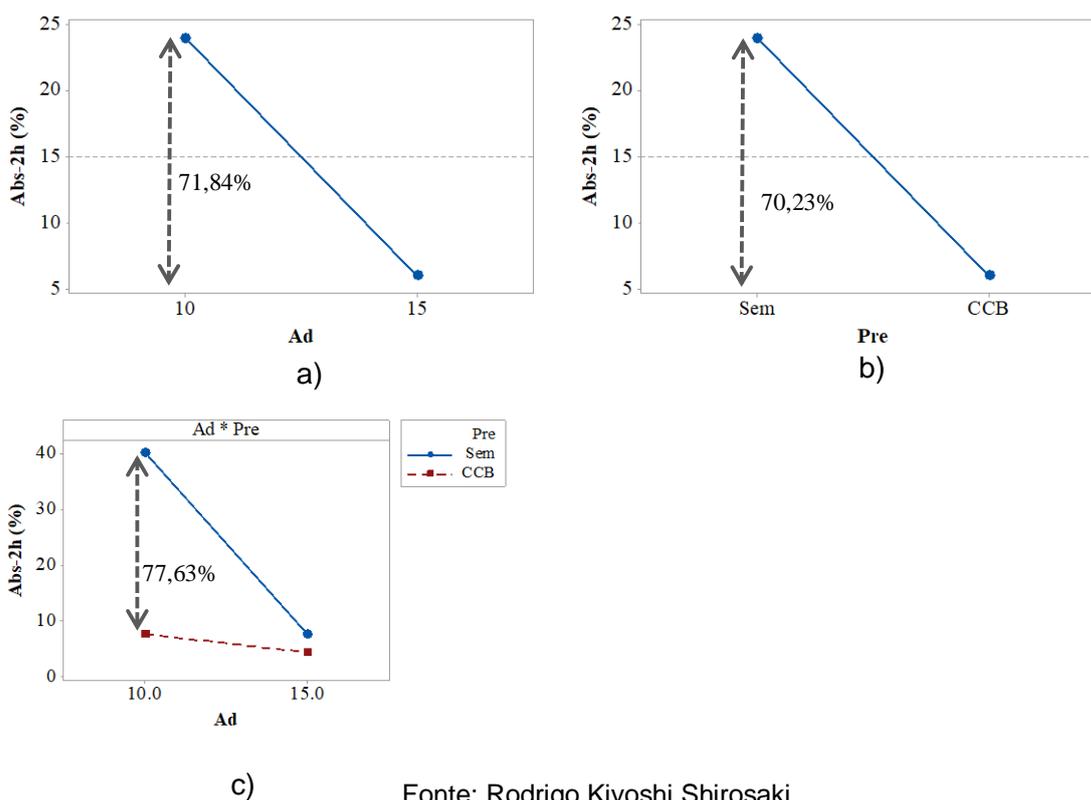
Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shiroasaki.

A presença do tratamento com CCB possibilitou uma maior compactação do material, gerando assim uma placa mais densa. Os tratamentos nos quais não havia a aplicação de madeira com preservante, apresentaram uma espessura 5,3% maior em média. Devido a isso, o volume dos painéis onde há madeira não tratada é levemente superior, gerando uma densidade inferior aos confeccionados com partículas tratadas. Esta diferença pode ter ocorrido devido a uma maior estabilidade dos painéis com CCB após a prensagem, ou seja, não houve uma expansão ao retirar a pressão aplicada durante o procedimento de produção.

4.2 Absorção de água

Da Equação 9, os fatores individuais e a interação de ambos influenciaram de forma significativa nos valores da absorção de água após duas horas de imersão em água. O uso de 15% de adesivo promoveu redução de 71,84% em relação ao uso de 10% (Figura 14a). A inclusão do CCB promoveu redução de 70,23% (Figura 14b) na propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas, e a interação entre 10% de adesivo com tratamento CCB da madeira forneceu valor da Abs-2h 77,63% inferior à condição de 10% de adesivo com madeira não tratada (Figura 14c).

Figura 14: Gráficos de efeitos principais da absorção de água após duas horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).

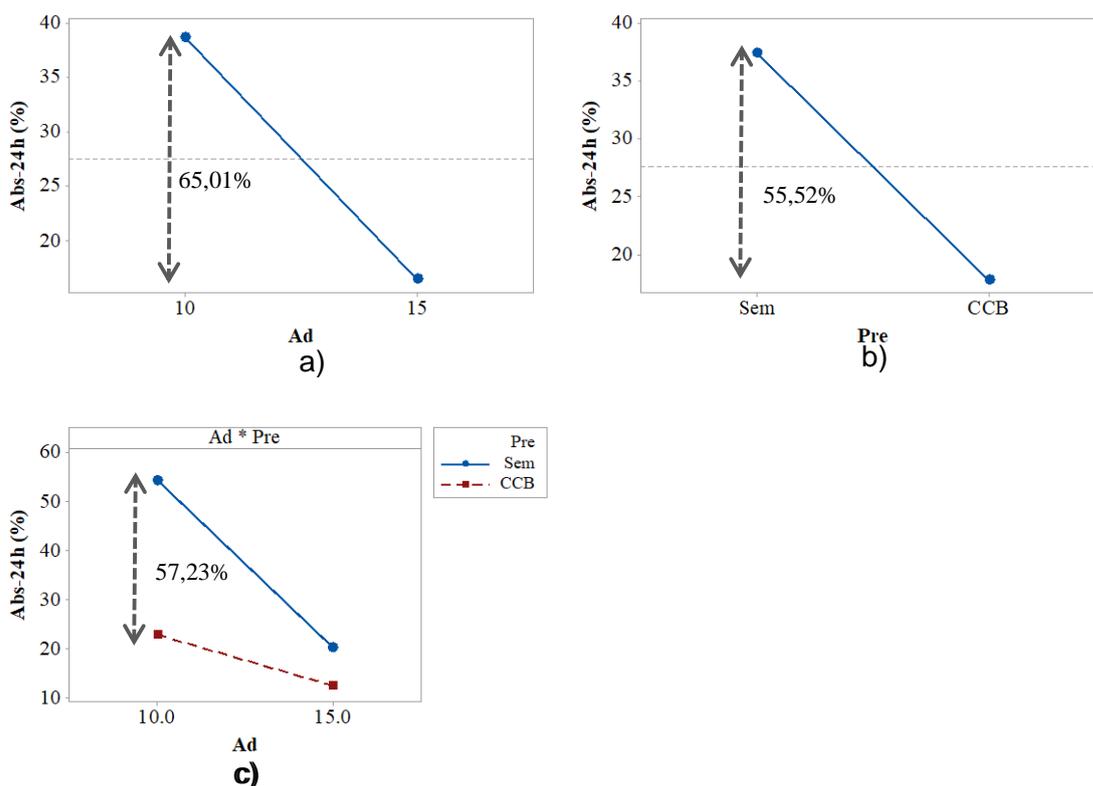


Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Os resultados mostram uma influência positiva do tratamento com CCB e da aplicação de uma quantidade maior de resina. O impacto do preservante foi mais notável no menor teor de adesivo quando se analisou a interação entre eles. Ambos tratamentos forneceram um ganho de desempenho contra a absorção de água.

Da Equação 10, os fatores individuais e a interação de ambos influenciaram de forma significativa nos valores da absorção de água após vinte e quatro horas de imersão. O uso de 15% de adesivo promoveu redução de 65,01% em relação ao uso de 10% (Figura 15a). A inclusão do CCB promoveu redução de 55,52% (Figura 15b) na propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas, e a interação entre 10% de adesivo com tratamento CCB da madeira forneceu valor da Abs-24h 57,23% inferior à condição de 10% de adesivo com madeira não tratada (Figura 15c).

Figura 15: Gráficos de efeitos principais da absorção de água após vinte e quatro horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

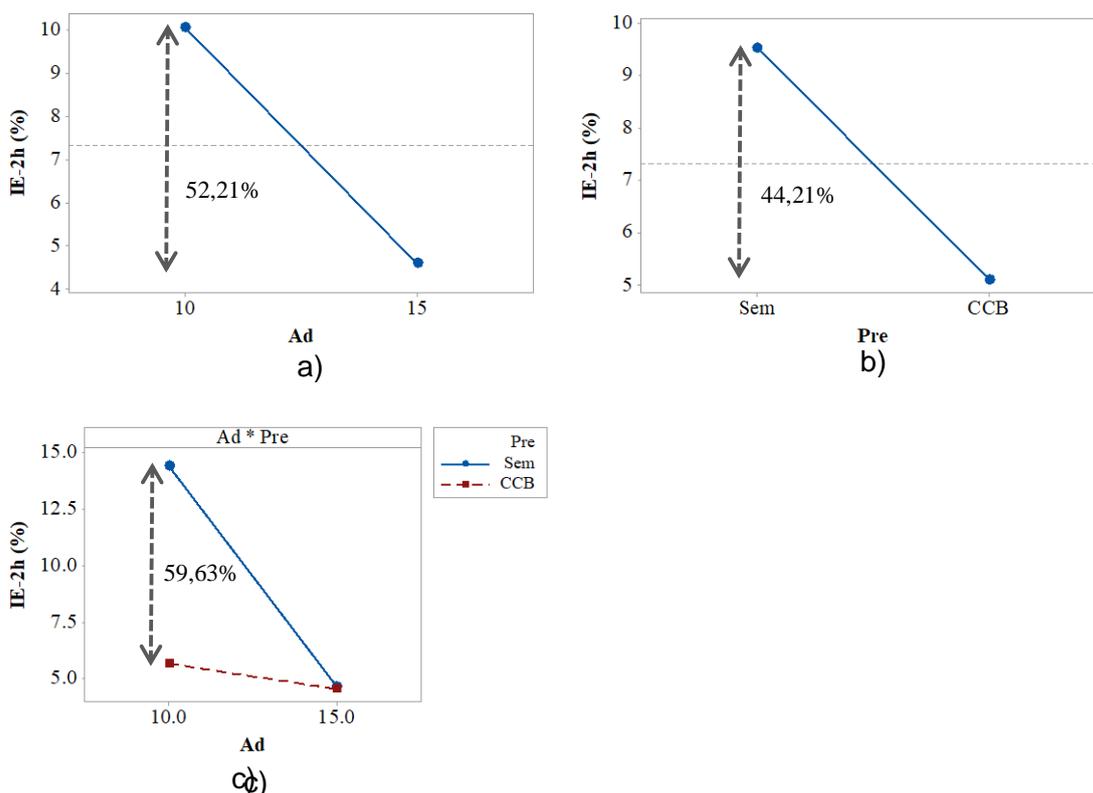
Analisando os dados obtidos, foi notável a redução de absorção de água ao utilizar-se uma maior quantidade de adesivo e partículas de madeira tratada. Isso se deve à propriedade menos higroscópica dos insumos já que a resina poliuretana e a

partícula tratada com preservante CCB, são resistentes à absorção de água e funcionam como um isolante. Conjunto a isso, o CCB quando empregado na madeira se aloja nos poros e os preenche, diminuindo a porosidade das próprias partículas.

4.3 Inchamento em espessura

Da Equação 11, os fatores individuais e a interação de ambos influenciaram de forma significativa nos valores o inchamento em espessura após duas horas de imersão em água. O uso de 15% de adesivo promoveu redução de 52,21% em relação ao uso de 10% (Figura 16a). A inclusão do CCB promoveu redução de 44,21% (Figura 16b) na propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas, e a interação entre 10% de adesivo com tratamento CCB da madeira forneceu valor do IE-2h 59,63% inferior à condição de 10% de adesivo com madeira não tratada (Figura 16c).

Figura 16: Gráficos de efeitos principais do inchamento em espessura após duas horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).

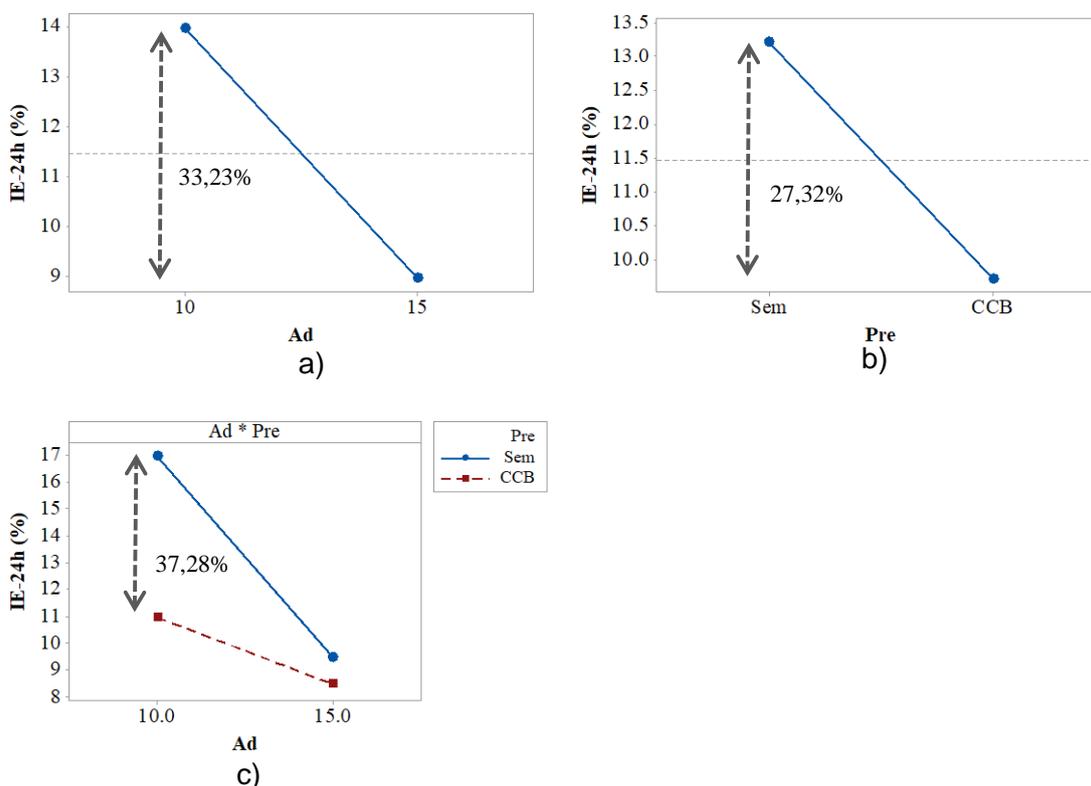


Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Da Equação 12, os fatores individuais e a interação de ambos influenciaram de forma significativa nos valores o inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água. O uso de 15% de adesivo promoveu redução de 33,23% em

relação ao uso de 10% (Figura 17a). A inclusão do CCB promoveu redução de 27,32% (Figura 17b) na propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas, e a interação entre 10% de adesivo com tratamento CCB da madeira forneceu valor do IE-24h 37,28% inferior à condição de 10% de adesivo com madeira não tratada (Figura 17c).

Figura 17: Gráficos de efeitos principais do inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b), gráfico de interação dos fatores (c).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

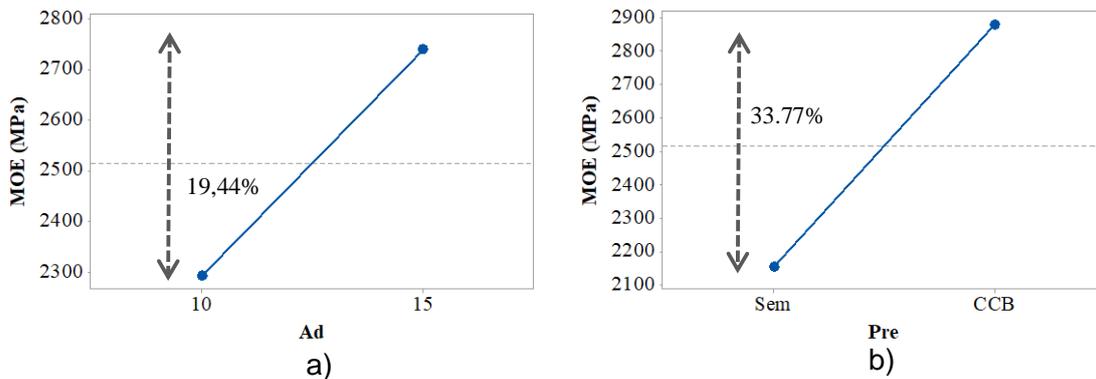
Houve uma ocorrência similar nos resultados dos ensaios de inchamento e de absorção, onde a quantidade de adesivo e a presença do tratamento com preservante foram os fatores mais influentes nos valores obtidos. De maneira análoga ao ensaio de absorção, os resultados foram explicados pela propriedade pouco higroscópica da resina poliuretana e do preservante CCB, além do preenchimento dos vazios da madeira.

4.4 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Da Equação 13, apenas os fatores individuais afetaram de forma significativa nos valores do módulo de elasticidade na flexão estática. O uso de 15% de adesivo

promoveu aumento de 19,44% em relação ao uso de 10% (Figura 18a), e a inclusão do CCB promoveu aumento de 33,77% (Figura 18b) nessa propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas.

Figura 18: Gráficos de efeitos principais do módulo de elasticidade em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b).



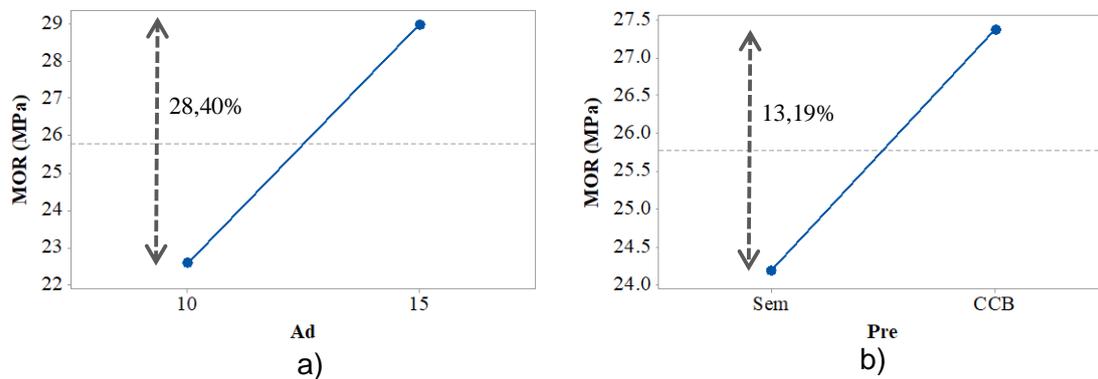
Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shiroasaki.

Os resultados do teste de Tukey (5% de significância) do fator adesivo (Ad) nos valores do MOE resultam em 10%=B, 12%=B e 15%=A, evidenciando que 10 ou 12% de adesivo implicam em valores equivalentes da propriedade.

Ao analisar os resultados, o tratamento com CCB forneceu um ganho de desempenho mecânico mais expressivo, em relação ao aumento de resina empregada no material. Ao olhar para a influência da variação do teor de cola, temos que para uma situação mais econômica é possível dosar este insumo em 10% ao invés de 12% pois teremos, para o MOE, um desempenho estatisticamente igual.

Da Equação 14, apenas os fatores individuais afetaram de forma significativa nos valores do módulo de resistência na flexão estática. O uso de 15% de adesivo promoveu aumento de 28,40% em relação ao uso de 10% (Figura 19a), e a inclusão do CCB promoveu aumento de 13,19% (Figura 19b) nessa propriedade em relação ao uso das partículas não tratadas.

Figura 19: Gráficos de efeitos principais do módulo de resistência em função do teor de adesivo (a) e do uso do preservante CCB (b).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

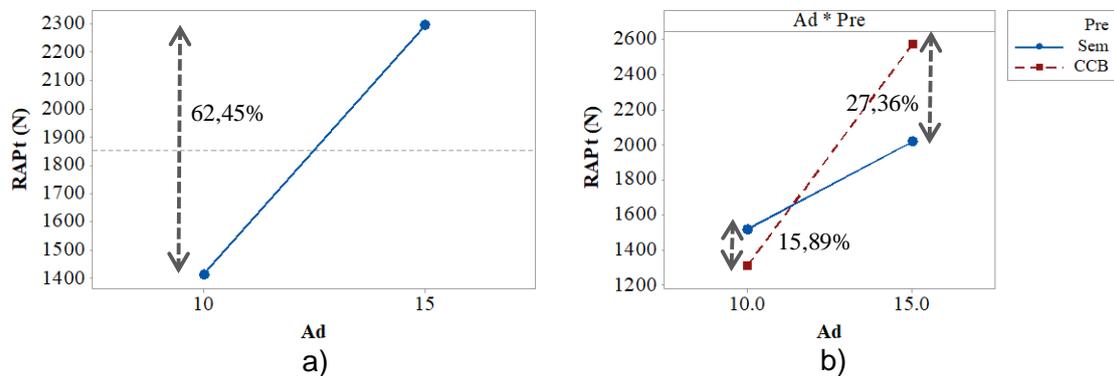
Os resultados do teste de Tukey (5% de significância) do fator adesivo (Ad) nos valores do MOR resultam em 10%=B, 12%=B e 15%=A, evidenciando que 10 ou 12% de adesivo implicaram em valores equivalentes da propriedade, assim também como encontrado no caso do MOE.

De maneira contrária ao observado no MOE, verificou-se uma performance superior do fator adesivo, onde o aumento do teor de cola foi mais significativo que a aplicação de CCB. Entretanto, o aumento de 10% para 12% não foi interessante, dado que foram obtidos desempenhos equivalentes para a ruptura.

4.5 Arrancamento de parafuso

Da Equação 15, o fator adesivo (Ad) e a interação entre ambos (Ad·Pre) afetaram de forma significativa nos valores da RAPt, e o mesmo não ocorreu com o fator preservante. O uso de 15% de adesivo promoveu um aumento de 62,45% em relação ao uso de 10% (Figura 20a). Das interações, 10% de adesivo e sem o tratamento da madeira resultou em valores da RAPt 15,89% superiores ao mesmo teor de adesivo mas com a madeira tratada com CCB, entretanto, não sendo significativos para o teste de Tukey. Para o teor de 15% de adesivo, tal comportamento foi inverso, sendo a média dos valores da RAPt 27,36% superior ao valor médio da RAPt com a madeira sem tratamento (Figura 20b).

Figura 20: Gráficos de efeitos principais da resistência ao arrancamento de parafuso de topo em função do teor de adesivo (a) e gráfico de interação dos fatores (b).



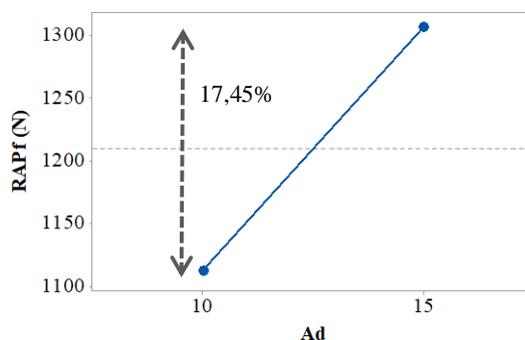
Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Os resultados do teste de Tukey (5% de significância) do fator adesivo (Ad) nos valores da RAPt resultam em 10%=B, 12%=B e 15%=A, evidenciando que 10 ou 12% de adesivo implicam em valores equivalentes da propriedade.

A estatística mostrou grande influência do fator adesivo, sendo este o maior contribuinte para o aumento de performance no arrancamento de parafuso de topo. A interação entre teor de cola e preservante mostrou que a presença de CCB apenas influenciou nos resultados para a fração de 15% de adesivo, enquanto é estatisticamente equivalente para o teor de 10%.

Da Equação 16, apenas o fator adesivo (Ad) afetou de forma significativa nos valores da resistência ao arrancamento de parafuso de face, e o mesmo não ocorreu com o fator preservante e também com a interação de ambos os fatores. O uso de 15% de adesivo promoveu aumento de 17,45% em relação ao uso de 10% (Figura 21).

Figura 21: Gráficos de efeitos principais da resistência ao arrancamento de parafuso de face em função do teor de adesivo.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

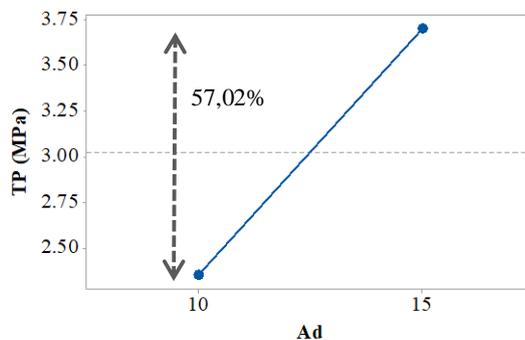
Os resultados do teste de Tukey (5% de significância) do fator adesivo (Ad) nos valores da RAPf resultam em 10%=B, 12%=A e 15%=A, evidenciando que 12 ou 15% de adesivo implicam em valores equivalentes da propriedade.

Para o arrancamento de parafuso de face, observou-se um ganho de performance apenas para o fator adesivo, embora tenha sido mais econômico estatisticamente utilizar um teor de 12% de cola.

4.6 Tração perpendicular

Da Equação 17, apenas o fator adesivo (Ad) afetou de forma significativa nos valores da resistência à tração perpendicular, e o mesmo não ocorreu com o fator preservante e também com a interação de ambos os fatores. O uso de 15% de adesivo promoveu aumento de 57,02% em relação ao uso de 10% (Figura 22).

Figura 22: Gráficos de efeitos principais da resistência à tração perpendicular em função do teor de adesivo.



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Os resultados do teste de Tukey (5% de significância) do fator adesivo (Ad) nos valores da TP resultam em 10%=B, 12%=A e 15%=A, evidenciando que 12 ou 15% de adesivo implicam em valores equivalentes da propriedade.

Para a tração perpendicular constatou-se um fenômeno diferente das outras propriedades mecânicas, com exceção do arrancamento de parafuso de face, onde não houve significância da aplicação de preservativo. Apenas o aumento do teor de adesivo mostrou-se efetivo no aumento da resistência, mas notou-se a equivalência de 12% e 15% de adesivo para esta propriedade.

4.7 Valores extremos e considerações

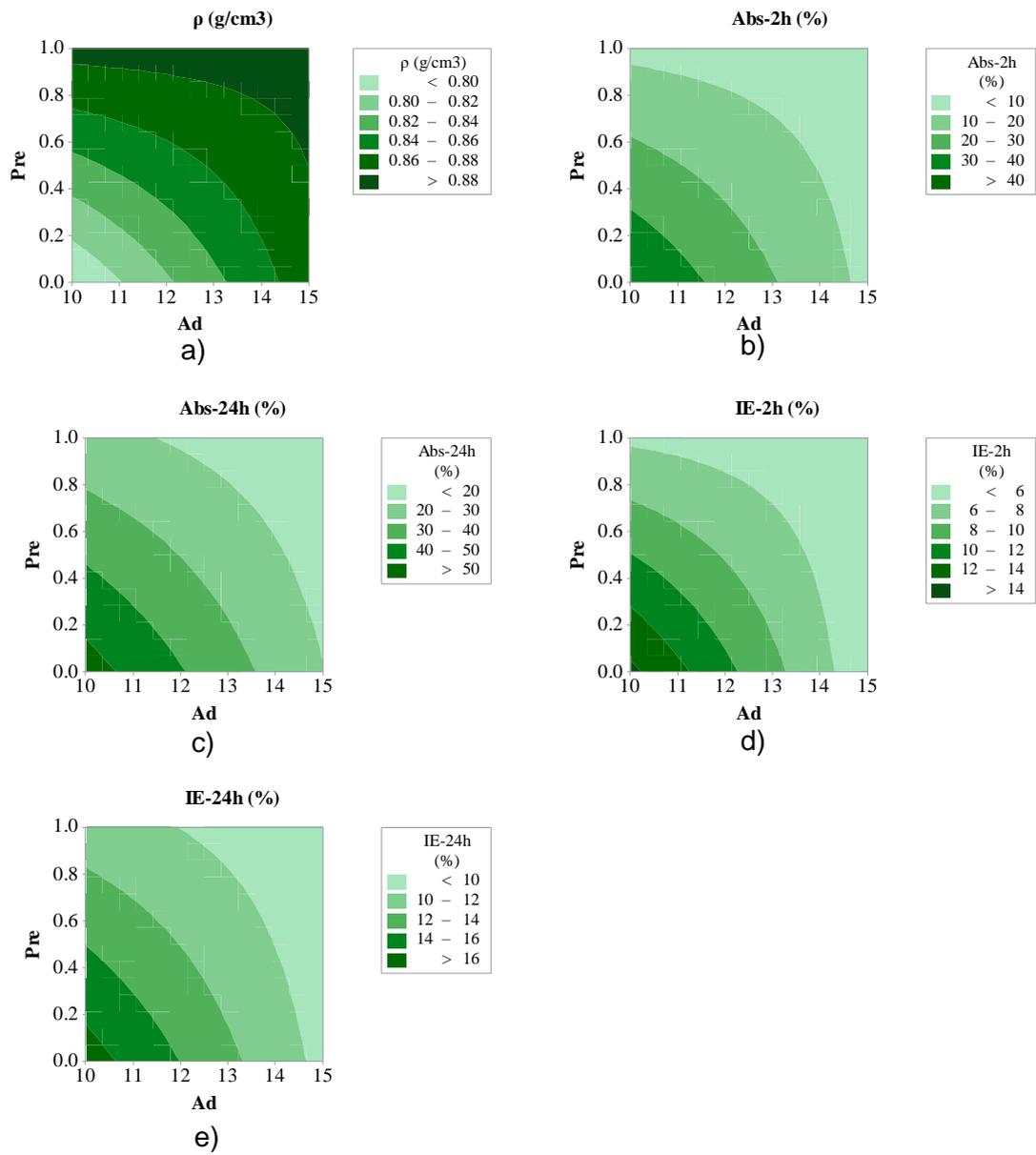
Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos valores extremos dos modelos de regressão das propriedades físicas e mecânicas, e nas Figuras 23 e 24 são apresentados os gráficos de contorno das propriedades físicas e mecânicas, respectivamente.

Tabela 5: Valores extremos dos modelos de regressão.

Propriedade	Ad	Pre	Mínimo	Ad	Pre	Máximo
ρ (g/cm ³)	10	0	0,78	15	1	0,89
Abs-2h (%)	15	1	4,38	10	0	40,24
Abs-24h (c)	15	1	12,59	10	0	54,39
IE-2h (%)	15	1	4,54	10	0	14,44
IE-24h (%)	15	1	8,48	10	0	16,96
MOE (MPa)	10	0	1937,40	15	1	3110,00
MOR (MPa)	10	0	21,27	15	1	30,87
RAPt (N)	10	1	1309,31	15	1	2572,58
RAPf (N)	10	1	1095,16	15	0	1365,29
TP (MPa)	10	1	2,30	15	0	3,87

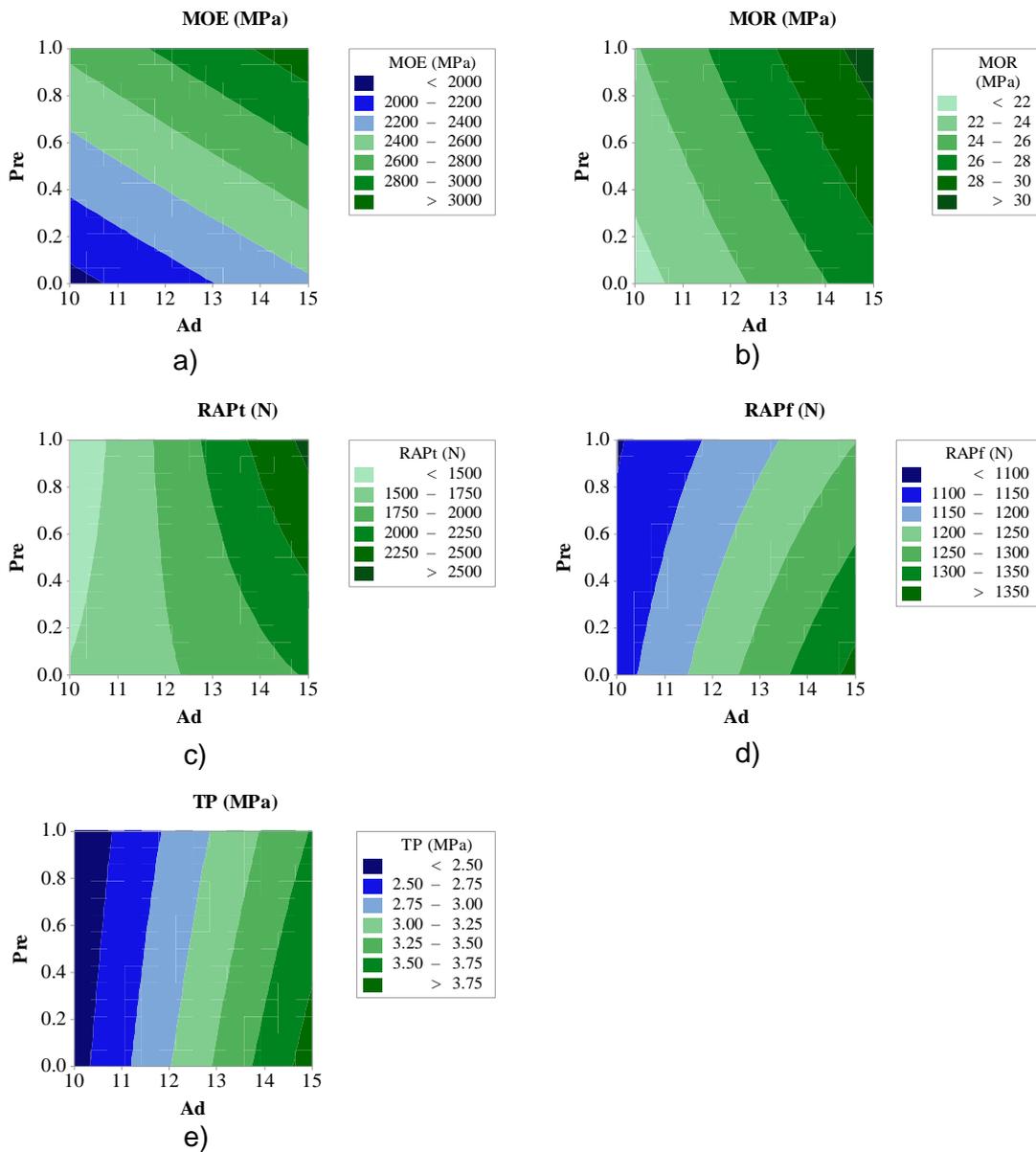
Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Figura 23: Gráficos de contorno dos modelos de regressão das propriedades físicas dos painéis - ρ (a), Abs-2h (b), Abs-24h (c), IE-2h (d), IE-24h (e).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shiroaki.

Figura 24: Gráficos de contorno dos modelos de regressão das propriedades mecânicas dos painéis - MOE (a), MOR (b), RAPt (c), RAPf (d), TP (e).



Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Os resultados mostraram uma relação positiva da presença do tratamento da madeira com CCB no desempenho físico-mecânico dos painéis. A interação com a água foi afetada de maneira muito positiva, gerando painéis mais resistentes à umidade. Além disso, a impregnação com CCB também beneficiou as propriedades mecânicas, mostrando-se ainda mais interessante sua aplicação mesmo não sendo designado para tal finalidade.

Como já esperado, o fator adesivo, na maior parte das situações, propiciou uma performance superior em teores mais elevados, embora em muitos casos o aumento de 10% para 12% não seja estatisticamente relevante.

A densidade e o teor de resina são fatores diretamente ligados à performance do painel nos quesitos de resistência mecânica e ação da água, como observado por Iwakiri *et al.*, (2005), onde os resultados mostraram que a densidade combinada com o teor de resina maior produziram painéis de melhor desempenho, sendo a densidade o fator que mais contribuiu para o aumento das propriedades mecânicas. Desta forma, a densidade maior dos painéis com CCB pode explicar os valores superiores obtidos, além de levar em conta a propriedade higroscópica do CCB.

4.8 Comparação dos resultados com normas e literatura

Os resultados foram comparados e organizados na Tabela 6 com os documentos normativos ABNT NBR 14810:2013, ANSI A208.1:1999, CS 236-66:1968 e EN 312:2003, além de resultados obtidos em literatura de trabalhos similares.

Tabela 6: Resultados e normas técnicas.

Painéis produzidos com resina poliuretana mista										
Tratamento	Propriedades Físicas					Propriedades Mecânicas				
	Dens (g/cm³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AP_T (N)	AP_F (N)	TP (MPa)
A - 10% c/ CCB	0,886	8	24	6	11	2634	24,3	1429	931	2,49
B - 10% s/ CCB	0,761	45	58	15	17	1936	21,7	1576	1152	2,30
C - 12% c/ CCB	0,890	5	17	5	10	2903	26,6	1691	1486	2,84
D - 12% s/ CCB	0,850	19	35	9	14	2219	24,8	1642	1274	3,15
E - 15% c/ CCB	0,888	5	13	5	9	3115	31,0	2613	1160	3,64
F - 15% s/ CCB	0,858	11	23	5	10	2360	26,9	2066	1356	3,80
Normas técnicas										
Norma	Dens (g/cm³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AP_T (N)	AP_F (N)	TP (MPa)
P2	-	-	-	-	18	1800	11	-	-	0,40
ABNT P3	-	-	-	-	17	2050	15	-	-	0,45
NBR P4	-	-	-	-	19	2300	16	-	-	0,40
14810 P5	-	-	-	-	13	2550	18	-	-	0,45
(2013) P6	-	-	-	-	16	3150	20	-	-	0,60
P7	-	-	-	-	10	3350	22	-	-	0,75
ANSI A208.1 (1999)	> 0,8	-	-	-	8	2400	16,5	1325	1800	0,90
CS 236-66 (1968)	> 0,8	-	-	-	55	2450	16,8	-	2041	1,40
P1	-	-	-	-	-	-	12,5	-	-	0,28
P2	-	-	-	-	-	1800	13	-	-	0,45
P3	-	-	-	-	14	2050	15	-	-	0,45
P4	-	-	-	-	16	2300	16	-	-	0,40
P5	-	-	-	-	11	2550	18	-	-	0,45
P6	-	-	-	-	15	3150	20	-	-	0,60
P7	-	-	-	-	9	3350	22	-	-	0,75

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

A Tabela 7 evidencia o atendimento dos critérios exigidos segundo a norma brasileira ABNT NBR 14810 (2013) para todos os tratamentos. O documento normativo brasileiro classifica os painéis da seguinte forma:

Tabela 7: Classificação dos painéis segundo a norma ABNT NBR 14810 (2013).

Classificação	Descrição
P2	Painéis não estruturais para uso interno em condições secas
P3	Painéis não estruturais para uso em condições úmidas
P4	Painéis estruturais para uso em condições secas
P5	Painéis estruturais para uso em condições úmidas
P6	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos
P7	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Comparando os resultados com a normativa brasileira, a classificação dos painéis confeccionados foi organizada na tabela 8 a seguir:

Tabela 8: Classificação dos painéis confeccionados, segundo a norma brasileira.

Tratamento	Classificação
A - 10% de resina, com CCB	P5
B - 10% de resina, sem CCB	P2
C - 12% de resina, com CCB	P5
D - 12% de resina, sem CCB	P2
E - 15% de resina, com CCB	P5
F - 15% de resina, sem CCB	P4

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirosaki.

Portanto, todos os painéis que receberam tratamento podem ser classificados como estruturais para uso em ambientes úmidos, enquanto que os sem preservantes não são adequados para uso estrutural com uso limitado à ambientes secos, exceto o tratamento E, cuja aplicação pode ser estrutural em ambientes secos.

Vale notar o bom desempenho dos painéis tratados contra a ação da água, já que o tratamento A (maior inchamento entre os tratamentos que receberam preservante), apresentou inchamento 15% inferior ao requisitado para painéis P5 (13%). Destaca-se também a excepcional resistência à tração perpendicular de todos os tratamentos em comparação com as normas, sendo o menor valor obtido (tratamento B – 2,30 MPa) 64,3% maior que o requisitado pelo critério mais rigoroso (CS 236-66).

Embora os valores obtidos cumpram com os requisitos da norma brasileira, isto não ocorreu para a norma americana ANSI A208.1 onde o inchamento em espessura e o arrancamento de parafuso de face são os quesitos limitantes. De forma

semelhante, segundo a norma CS 236-66, o valor para arrancamento de parafuso de face não foi atendido para nenhum dos tratamentos, apesar de todos os tratamentos com CCB (A, C e E) atenderem aos outros requisitos. Para a norma europeia, a classificação seguiu idêntica à brasileira, onde todos os tratamentos atenderam às exigências.

Objetivando comparar os resultados com a literatura, foram escolhidos os trabalhos desenvolvidos com madeira do gênero *Pinus* e resina poliuretana à base de mamona, pois ainda não existem pesquisas utilizando a resina poliuretana mista à base de vegetais. A tabela 9 mostra os valores obtidos por autores com painéis similares:

Tabela 9: Propriedades físico-mecânicas de pesquisas similares.

		Trabalhos semelhantes em literatura									
Autores		Dens (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	APT (N)	APF (N)	TP (MPa)
Bertolini <i>et al.</i> (2013)	A	0,88	6,66	20,93	4,27	11,06	2304	25	2592	1417	1,22
	C	0,9	5,82	17,72	3,37	8,79	2474	26	2604	1608	1,54
Paes <i>et al.</i> (2011)		0,89	3,91	16,54	7,43	15,51	1636,4	14,4	-	-	1,72
		Painéis de <i>Pinus</i> tratado com CCB e resina poliuretana a base de mamona									
C - 12% com CCB		0,89	5	17	5	10	2903	26,6	1691	1486	2,84
E - 15% com CCB		0,85	19	35	9	14	2219	24,8	1642	1274	3,15

Fonte: Rodrigo Kiyoshi Shirotsaki.

Bertolini *et al.* (2013) estudaram painéis produzidos com madeira de *Pinus sp.* tratados com CCB e resina poliuretana bicomponente à base de mamona, variando-se a quantidade de partículas, tempo de prensagem e teor de resina. Para comparação, foram escolhidos os tratamentos com tempo de prensagem de 10 minutos e densidades próximas às obtidas neste trabalho. Os tratamentos escolhidos foram: A (12% de resina) e C (15% de resina), confrontados com o C e E deste trabalho respectivamente. Para as propriedades físicas, a literatura tem desempenho inferior em todos os quesitos, com exceção do inchamento em espessura após 2 horas, bem como para as propriedades mecânicas MOE, MOR e TP.

Paes *et al.* (2011) avaliaram a influência dos parâmetros de prensagem (pressão e temperatura) na qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com 16% de resina bicomponente a base de mamona. O tratamento 2 foi escolhido baseado em sua densidade e parâmetros de produção similares para confrontar com o tratamento E. Apenas o valor de absorção de água após 2 horas apresentou melhor performance que o tratamento E, o qual teve desempenho mecânico muito superior sendo a diferença de 1478 MPa para MOE, 16,6 MPa para MOR e 1,92 MPa para TP.

Isso mostrou o bom comportamento da resina poliuretana a base de óleos vegetais mistos, tendo um desempenho a par com a resina poliuretana a base de óleo de mamona. O aprimoramento das resinas poliuretanas de origem vegetal é notável ao se confrontar os valores obtidos com trabalhos anteriores. Com o passar dos anos, a tecnologia vem sendo melhorada e sua aplicação para produção de painéis de partículas tornando-as mais interessantes.

5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- O tratamento das partículas de *Pinus sp.* com CCB foi eficaz na impermeabilização da madeira, além de garantir melhores propriedades físico-mecânicas frente a madeira in natura. A função primordial do preservante é a conservação do material, mas apurou-se funcionalidades secundárias muito positivas
- Os resultados mostram a viabilidade técnica da produção de painéis de partículas com a resina poliuretana a base de óleos vegetais mistos. O atendimento das normas brasileira e europeia evidencia a possibilidade de uso de resinas alternativas sustentáveis.
- Os valores de tração perpendicular foram muito superiores aos exigidos nos documentos normativos, tornando interessante a utilização da resina para confecção de painéis onde esta é uma propriedade importante. A tração está diretamente ligada à qualidade do painel, uma vez que é um dos parâmetros avaliados durante a produção. Um valor elevado sugere uma peça com núcleo estável e de boa qualidade, além de garantir que o painel não irá abrir ao meio facilmente.

Referências bibliográficas

AMERICAN NATIONAL STANDARD. A208.1. Particleboard. Gaithersburg, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1. **Chapas de madeira aglomerada** – parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14810-2. **Chapas de madeira aglomerada – parte 2**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14810-3. **Chapas de madeira aglomerada – parte 3**. Rio de Janeiro, 2013.

BAYATKASHKOLI, A.; HAMID, R. T.; KAMESHKI, B.; RAVAN, S.; SHAMSIAN, M. Effects of zinc and copper salicylate on biological resistance of particleboard against *Anacanthotermes vagans* termite. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 115, p. 26–30, 2016.

BAYATKASHKOLI, A.; KAMESHKI, B. RAVAN, S.; SHAMSIAN, M. Comparing of performance of treated particleboard with alkaline copper quat, boron-fluorine-chromium-arsenic and Chlorotalonil against *Microcerotermes diversus* and *Anacanthotermes vagans* termite. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 120, p. 186–191, 2017.

BERTOLINI, M. S.; LAHR, F. A. R; NASCIMENTO, M. F.; AGNELLI, J. A. M. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated *Pinus* sp. and castor oil resin. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 293–303, 2013.

BERTOLINI, M. S.; NASCIMENTO, M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus* sp. tratado com preservante cca e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 339–346, 2014.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. “Perspectivas da pesquisa e utilização”. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 129–138, 2006.

BRASIL. IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**, 2017. IBGE, 2017.

COMMERCIAL STANDARD. CS 236-66. **Mat formed wood particleboard**. (s.l), 1986.

DIAS, F. M. **Aplicação De Resina Poliuretana À Base De Mamona Na Fabricação De Painéis De Madeira**. Dissertação (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 312. **Particleboards: specifications**. Lisboa, 2003.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO, H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, n. 1, p. 69–75, 2012.

FIORELLI, J.; RAMOS, R. D.; SAYAMA, J. T.; BARREO, N. G.; PALONE, E. J. A. Particleboards with waste wood from reforestation. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 2, p. 251, 2014.

FREEMAN, M. H.; SHUPE, T. F.; VLOSKY, R. P.; BARNES, H. M. Past, Present, and Future of the Wood Preservation Industry. **Forest Products Journal**, v. 53, n. 10, p. 8-15, 2003.

GAMA, R. O.; DIAS, F. M.; NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R. Painéis de partículas de rejeito UKP / BKP da indústria de celulose e de resíduos de *Pinus elliottii* : resistência ao arrancamento de parafusos e à resistência à tração perpendicular às faces. **Construindo**, v. 2, n. 1, p. 35–39, 2010.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, B. M. R.; MELO, R. R. Efeito do Teor da Parafina nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 72–82, 2013.

Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <http://www.iba.org>. Acessado em 2019.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ANDRIANZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323–328, 2005.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CHIES, D.; TAVARES, E. L.; FRANÇA, M. C.; LAU, P. C.; IWAKIRI, V. T. Use of residues of forestry exploration of *Pinus taeda* for particleboard manufacture. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2017.

- JÚNIOR, C. C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, p. 71–77, 1997.
- KESKIN, H.; KUCUKTUVEK, M.; GURU, M. The potential of poppy (*Papaver somniferum* Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards. **Construction and Building Materials**, v. 95, n. 2015, p. 224–231, 2015.
- LESSMANN, V. E. **Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de ressonância magnética nuclear**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, 2008.
- MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto Particleboards produced with sugar cane bagasse and Eucalyptus wood. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 285–295, 2010.
- NASCIMENTO, M.F.; LAHR; F.A.R.; CHRISTOFORO, A.L. **Painéis de partícula de média densidade: Fabricação e caracterização**. São Carlos: EESC/USP, 2015.
- PAES, J. B.; NUNES, S. T.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; LACERDA, R. M. A. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 3, p. 549–556, 2011.
- SILVA, J. V. F.; FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Caracterização de painéis de partículas produzidos com resíduos de madeira de *Pinus* spp . **Scientia Forestalis**, p. 623–628, 2016.
- TASCIOGLU, C.; UMEMURA, K.; YOSHIMURA, T.; TSUNODA, K. Biological performance of zinc borate-incorporated particleboard: Effects of leaching on efficacy. **Composites Part B: Engineering**, v. 57, p. 31–34, 2014.
- VARANDA, L. D.; NASCIMENTO, M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, D. A. L.; LAHR, F. A. R. Oat hulls as addition to high density panels production. **Materials Research**, v. 16, n. 6, p. 1355–1361, 2013.
- VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKI, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257–271, 2015.