

Desempenho de painéis de partículas produzidos com resíduos de madeira tratada submetidos ao intemperismo natural

Maria Fátima do Nascimento ^[1], Diego Henrique de Almeida ^[2], Diogo Aparecido Lopes Silva ^[3], Túlio Hallak Panzera ^[4], André Luis Christoforo ^[5], Francisco Antonio Rocco Lahr ^[6]

[1] fati@sc.usp.br. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas.

[2] diegoalmeida@unir.br. Universidade Federal de Rondônia, Núcleo de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.

[3] diogo.apls@gmail.com. Universidade Federal de São Carlos, Campus de Sorocaba.

[4] panzera@ufsj.edu.br. Universidade Federal de São João del-Rei, Centro de Inovação e Tecnologia em Compósitos (CITeC).

[5] christoforoal@yahoo.com.br. Universidade Federal de São Carlos, Campus São Carlos.

[6] frocco@sc.usp.br. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas

RESUMO

Os painéis de partículas utilizados neste estudo foram fabricados com resíduos de madeira de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*, previamente tratados com produtos preservantes CCA, CCB e resina poliuretana à base de mamona. Os corpos de prova extraídos dos painéis foram expostos ao intemperismo natural de acordo com as recomendações da norma D1435 (ASTM, 1994), nas seguintes condições: “*in natura*” (sem revestimento) e revestidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Foram analisados lotes de corpos de prova não expostos ao intemperismo (referência) e em diferentes períodos de exposição (3, 6, 9 e 12 meses), entre dezembro de 2014 e dezembro de 2015, no município de São Carlos, interior do estado de São Paulo. Os resultados do teste de Tukey evidenciaram reduções significativas nos valores dos módulos de elasticidade e de resistência na flexão estática e da resistência ao arrancamento de parafuso de topo para os materiais envelhecidos; entretanto, o mesmo não ocorreu com a adesão interna e a resistência ao arrancamento de parafuso de face, que, para alguns tratamentos, apresentaram valores superiores aos painéis fabricados da condição de referência.

Palavras-chave: Construção civil. Desempenho. Intemperismo. Painéis de madeira. Propriedades.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the performance of panels under natural weathering. Particleboards were manufactured with wood waste from Eucalyptus sp. and Pinus sp., previously treated with preservative products CCA, CCB, and castor-based polyurethane resin for panel manufacture. The specimens extracted from the panels were exposed to natural weathering according to the recommendations of the standard ASTM D1435 (1994), under the following conditions: “in natura” (without coating) and coated with polyurethane resin based on castor oil. Wood samples not exposed to natural weathering (reference) and at different periods of exposure (3, 6, 9, and 12 months) were analyzed between December 2014 and December 2015 in São Carlos city, in the São Paulo state. Results of the Tukey test showed significant reductions in the values of elasticity and rupture modulus in static bending and pullout of the top screw strength for aged materials. However, the same did not occur with the internal adhesion and pullout face screw strength, which for some treatments showed higher values than the panels manufactured under the reference condition.

Keywords: Civil construction. Performance. Properties. Weathering. Wood panels.

1 Introdução

A construção civil é notadamente um dos principais setores da economia brasileira, sendo responsável pela geração de empregos devido à rede de suprimentos que a constitui. Além disso, o setor busca incrementar melhorias nos índices de qualidade e produtividade na execução de obras (COTTA; ANDERY, 2018). Em relação aos materiais de construção civil, o setor demanda produtos que atendam os pré-requisitos relacionados à durabilidade conforme a Norma Brasileira (NBR) 15575 (ABNT, 2013) sobre desempenho de edificações habitacionais.

Entre os materiais de construção, destacam-se os painéis à base de madeira que podem ser utilizados como elementos estruturais (ANTUNES *et al.*, 2019; MENG *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2014) e também em coberturas e vedações (KORD *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2019).

Os materiais de construção utilizados expostos às condições ambientais, como em coberturas, são solicitados pelo intemperismo natural (ALMEIDA *et al.*, 2019; OBERHOFNEROVÁ *et al.*, 2017). Segundo Callister Junior (2014), o intemperismo é a combinação de vários processos diferentes em condições de exposição, e, sob essas condições, a deterioração é o resultado de reações de oxidação, as quais são iniciadas pela reação ultravioleta do Sol.

O estudo das propriedades físicas e mecânicas dos materiais expostos ao intemperismo é importante para verificar o comportamento destes durante o tempo de exposição, para garantir o desempenho esperado, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) (MIRSKI *et al.*, 2020; POLETO *et al.*, 2020; SAHIN; ARSLAN, 2011; VARANDA *et al.*, 2019).

Para proteção do material exposto às condições climáticas, há necessidade da aplicação de produtos que favoreçam a durabilidade do material (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Esses revestimentos podem ser adquiridos no comércio, produzidos por indústrias químicas e com novas soluções técnicas desenvolvidas em laboratório, com o objetivo de diminuir os efeitos negativos do intemperismo nas propriedades do material. Os produtos preservantes podem ser aplicados sobre a superfície do painel ou adicionados durante o seu processo de fabricação (GHOSH *et al.*, 2009; HODOUSEK *et al.*, 2019; NEJAD *et al.*, 2017).

O objetivo desta pesquisa é verificar a influência do intemperismo natural durante 3, 6, 9 e 12 meses nas propriedades mecânicas (módulo de elasticidade

e módulo de ruptura, resistência ao arrancamento de parafuso de topo e de face e tração perpendicular à face) e nas propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura) de painéis à base de partículas de madeira de Pinus e Eucalipto, com e sem pré-tratamento, com e sem tratamento superficial à base de produto industrial e resina poliuretana à base de mamona.

2 Método da pesquisa

A parte experimental desta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). Nos próximos itens serão apresentados separadamente os materiais utilizados para cada etapa.

2.1 Produção dos painéis e tratamento superficial

Os cavacos de madeira de Eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e de Pinus (*Pinus* sp.), ambos previamente tratados com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Borato de Cobre Cromatado), foram coletados em serrarias da região do município de São Carlos, interior de São Paulo.

Os cavacos foram processados em um moinho martelo do tipo Willye, da marca Marconi, modelo MA 680, para diminuição das dimensões, e passaram por peneiramento para classificação das partículas; em seguida, todo o material retido na peneira com malha 2,8 mm foi utilizado na pesquisa.

Para a fabricação dos painéis, foram utilizados 1400 g de partículas aglutinadas com 168 g de adesivo poliuretano à base de mamona no misturador, de acordo com os procedimentos experimentais avaliados por Ferro *et al.* (2019), Wilczak *et al.* (2019) e Zau *et al.* (2014). A resina poliuretana à base de mamona era bicomponente, com teor de sólidos de 100%, sendo um dos componentes um poliál derivado de óleo vegetal, com densidade de 1,20 g/cm³, e o outro o isocianato polifuncional, com densidade de 1,24 g/cm³. Posteriormente, os painéis foram prensados a 3,50 MPa à temperatura de 100 °C.

Dessa forma, foram fabricados 12 painéis para cada combinação espécie-tratamento, ou seja, 48 painéis quadrados com 40 cm de lado e espessura nominal de 10 mm.

Após 72 horas de fabricação dos painéis (tempo para término da cura da resina à base de mamona), os painéis foram submetidos ao tratamento superficial que consistiu na aplicação da própria resina poliuretana à base de mamona, em duas demãos, sobre a superfície que ficaria exposta ao intemperismo.

2.2 Exposição ao intemperismo natural

Os corpos de prova com as superfícies devidamente tratadas foram fixados em uma estrutura para exposição ao intemperismo natural durante 3, 6, 9 e 12 meses, sendo 3 painéis para cada idade de intemperismo, de acordo com a norma D1435 (ASTM, 1994) da *American Society for Testing and Materials* (Figura 1). O processo de exposição foi realizado no campus da Escola de Engenharia de São Carlos, em São Carlos, interior do estado de São Paulo (Latitude: 22° 0' 55" Sul; Longitude: 47° 53' 28" Oeste), durante os meses de dezembro de 2014 e dezembro de 2015.

Figura 1 – Corpos de prova expostos ao intemperismo



Fonte: dados da pesquisa

2.3 Estimativa de propriedades mecânicas e físicas

As propriedades mecânicas estudadas nesta pesquisa foram o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) na flexão estática, o arrancamento de parafuso de topo e de face e a tração perpendicular à face do painel. Os ensaios ocorreram na máquina universal de ensaios AMSLER, com capacidade de carga de 250 kN.

Os ensaios de flexão estática aconteceram de acordo com a norma EN 310 (EN, 1993a) do *European Committee for Standardization* (EN) em corpos de prova com dimensões de 250 x 50 mm e espessura nominal do painel 10 mm.

O ensaio de tração perpendicular às faces ocorreu em corpos de prova quadrados com 50 mm de lado e espessura nominal do painel de 10 mm, de acordo com a norma EN 319 (EN, 1993b).

Os ensaios para estimativa da resistência ao arrancamento de parafuso de face e de topo ocorreram de acordo com os procedimentos recomendados pela norma NBR 14810-3 (ABNT, 2018). Os corpos de prova para os ensaios de arrancamento de parafuso de topo possuíam dimensões iguais a 115 x 65 mm e para arrancamento de parafuso de face iguais a 150 x 75 mm.

As propriedades físicas estudadas nesta pesquisa foram a absorção de água e o inchamento em espessura após imersão em água durante 24 horas, de acordo com os procedimentos experimentais padronizados pela EN 317 (EN, 1993c) em corpos de prova quadrados de 50 mm de lado e espessura igual à do painel, ou seja, 10 mm.

2.4 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para avaliar a influência dos fatores: espécie de madeira [Sp] (Pinus [Pi]; Eucalipto [Eu]); tipo de preservante [Pre] (CCA, CCB); revestimento [Co] (with [wi], without [wo]); e período de exposição ao intemperismo natural [NA] (3, 6, 9 e 12 mo [months]) no inchamento em espessura [TS], na absorção de água [WA] e no módulo de elasticidade na flexão estática [MOE] dos painéis fabricados. A combinação dos níveis dos quatro fatores em análise forneceu 32 tratamentos [T] experimentais distintos, explicitados na Tabela 1, além das condições de referências, que consistem nos painéis fabricados com partículas de madeira de Pinus e de Eucalipto tratados com preservantes, mas não revestidos e não envelhecidos.

Tabela 1 – Tratamentos delineados do planejamento fatorial completo

T	Sp	Pre	Co	NA	T	Sp	Pre	Co	NA
1	Pi	CCA	wi	3	17	Eu	CCA	wi	3
2	Pi	CCA	wi	6	18	Eu	CCA	wi	6
3	Pi	CCA	wi	9	19	Eu	CCA	wi	9
4	Pi	CCA	wi	12	20	Eu	CCA	wi	12
5	Pi	CCA	wo	3	21	Eu	CCA	wo	3
6	Pi	CCA	wo	6	22	Eu	CCA	wo	6
7	Pi	CCA	wo	9	23	Eu	CCA	wo	9
8	Pi	CCA	wo	12	24	Eu	CCA	wo	12
9	Pi	CCB	wi	3	25	Eu	CCB	wi	3
10	Pi	CCB	wi	6	26	Eu	CCB	wi	6
11	Pi	CCB	wi	9	27	Eu	CCB	wi	9
12	Pi	CCB	wi	12	28	Eu	CCB	wi	12
13	Pi	CCB	wo	3	29	Eu	CCB	wo	3
14	Pi	CCB	wo	6	30	Eu	CCB	wo	6
15	Pi	CCB	wo	9	31	Eu	CCB	wo	9
16	Pi	CCB	wo	12	32	Eu	CCB	wo	12

Fonte: dados da pesquisa

A ANOVA foi avaliada com o auxílio do *software Minitab®* versão 14, ao nível de 5% de significância (α). A hipótese nula (H_0) considerada consistiu na equivalência das médias entre os tratamentos, e na não equivalência de pelo menos duas médias como hipótese alternativa (H_1). Pelas hipóteses estabelecidas, P-valor (probabilidade P) inferior ao nível de significância (0,05) implica rejeitar H_0 (pelo menos uma média significativamente diferente das demais), aceitando-a em caso contrário (médias estatisticamente equivalentes).

Para validação da ANOVA, foram testadas a normalidade (teste de Anderson-Darling [AD]) e a homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) dos resíduos. Para ambos os testes, considerados também ao nível de 5% de significância, P-valor superior a 0,05 implica que a distribuição dos resíduos por propriedade é normal e que as variâncias dos tratamentos são homogêneas, validando o modelo da ANOVA. Gráficos de interação entre fatores foram utilizados para auxiliar na interpretação dos resultados das interações consideradas significativas pela ANOVA, e o teste de Tukey, também ao nível de 5% de significância, foi utilizado para o agrupamento dos níveis dos fatores, possibilitando evidenciar o melhor tratamento por propriedade investigada. Do teste de Tukey, A representa o grupo (tratamento) de maior valor

médio, B, o de segundo maior valor médio, e assim sucessivamente; letras iguais implicam tratamentos com médias estatisticamente equivalentes.

Para cada um dos 32 tratamentos e para cada uma das três propriedades (TS, WA, MOE) citadas, foram obtidas 3 determinações, totalizando 288 determinações.

Após o final da etapa de envelhecimento (12 meses), além do inchamento em espessura, absorção de água e do módulo de elasticidade, foram obtidos também o módulo de resistência na flexão estática (MOR), a resistência na tração perpendicular [IB] e as resistências ao arrancamento de parafuso de face [SPf] e de topo [SPt]. Conhecidos os valores dessas mesmas propriedades para os materiais fabricados da condição de referência, que consistem no uso da madeira de Pinus [PiRCCA, PiRCCB] e de Eucalipto [EuRCCA, EuRCCB], ambos tratados com CCA e CCB, não envelhecidos e sem recobrimento, tais materiais foram avaliados, via ANOVA, em comparação com os painéis provenientes dos tratamentos T4, T8, T12, T16 e T20, T24, T28, T32 (Pinus, Eucalipto, envelhecidos após 12 meses, com preservantes CCA e CCB e com e sem recobrimento), possibilitando investigar o efeito do envelhecimento, do recobrimento e do tipo de preservante para cada espécie de madeira.

3 Resultados da pesquisa

A Tabela 2 apresenta os valores médios (por propriedade e por tratamento) e os menores [Cvmin] e os maiores [Cvmax] valores dos coeficientes de variação [Cv] obtidos entre os 32 tratamentos experimentais por propriedade em conjunto com os

resultados dos painéis fabricados com partículas de madeira de Pinus [PiRCCA, PiRCCB] de Eucalipto [EuRCCA, EuRCCB] da condição de referência. Cabe ressaltar que as propriedades de resistência (MOR, IB, SPf, SPt) foram obtidas apenas para os tratamentos T4, T8, T12, T16, T20, T24, T28, T32 relacionados ao período de 12 meses de envelhecimento natural.

Tabela 2 – Valores médios e coeficientes de variação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados

T	TS (%)	WA (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	IB (MPa)	SPf (N)	SPt (N)
1	3,98	2,64	5124	---	---	---	---
2	4,30	8,82	4332	---	---	---	---
3	3,90	4,63	1768	---	---	---	---
4	4,12	7,83	498	11,67	11,95	118	498
5	4,87	3,72	467	---	---	---	---
6	5,73	6,81	683	---	---	---	---
7	5,67	6,59	1886	---	---	---	---
8	5,29	8,69	1441	13,00	11,74	119	1441
9	2,74	4,92	4869	---	---	---	---
10	3,47	6,21	5150	---	---	---	---
11	0,85	3,57	516	---	---	---	---
12	2,92	5,40	419	12,00	7,93	124	419
13	2,55	3,13	648	---	---	---	---
14	3,83	4,48	493	---	---	---	---
15	4,07	5,70	2835	---	---	---	---
16	4,66	7,09	2102	13,00	4,79	125	2102
17	3,62	7,20	6305	---	---	---	---
18	6,61	9,46	7096	---	---	---	---
19	2,45	9,30	1015	---	---	---	---
20	5,05	9,17	512	12,33	10,8	126	512
21	4,01	6,73	974	---	---	---	---
22	7,00	6,65	674	---	---	---	---
23	7,35	8,75	988	---	---	---	---
24	8,17	9,83	2022	11,67	11,12	129	1889
25	0,36	11,8	6724	---	---	---	---
26	6,45	2,57	7771	---	---	---	---
27	3,65	10,20	926	---	---	---	---
28	1,82	1,59	992	12,00	9,46	123	992
29	3,41	9,06	1011	---	---	---	---
30	1,29	0,61	1218	---	---	---	---
31	6,63	12,2	1087	---	---	---	---
32	3,87	2,76	2283	12,33	9,80	124	2550
PiRCCA	---	---	5124	26,00	2,19	1636	2629
PiRCCB	---	---	4332	28,33	2,22	1839	2605
EuRCCA	---	---	1768	16,33	0,38	1474	2574
EuRCCB	---	---	498	26,33	1,49	1479	2479
Cvmin (%)	3,53	6,84	11,23	17,52	13,4	15,76	18,10
Cvmax (%)	27,9	33,2	21,86	26,47	29,2	31,47	33,60

Fonte: dados da pesquisa

Os valores médios do MOE dos painéis de madeira com resíduo de Pinus tratado com CCA foi superior 15% quando comparado àquele tratado com CCB. Quando os painéis foram fabricados com resíduos de Eucalipto, entretanto, a diferença entre os valores médios nos módulos de elasticidade foi da ordem de 70% quando comparados os valores médios para os painéis tratados com CCA e CCB. De maneira geral, os valores médios dos painéis fabricados com Pinus foram superiores aos valores obtidos pelos painéis com resíduos de Eucalipto.

Em relação aos valores médios do MOR, os painéis de referência fabricados com Eucalipto e com Pinus tratados com CCB apresentaram os melhores resultados iguais a 26,33 e 28,33 MPa, respectivamente. Os maiores valores para IB e SPf também foram obtidos para os painéis de referência tratados com CCB.

A Tabela 3 apresenta os resultados da ANOVA e dos testes de validação das três propriedades investigadas (TS, WA, MOE) do planejamento fatorial com 32 tratamentos.

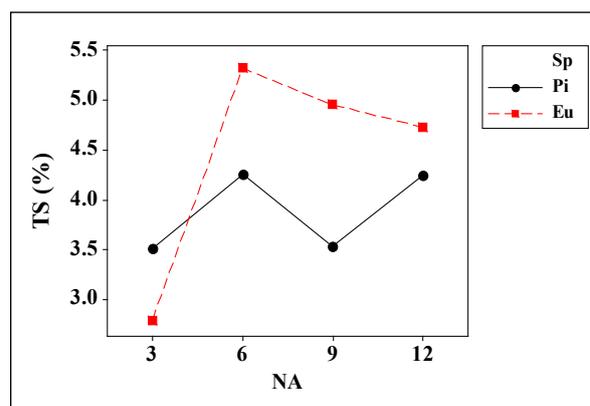
Tabela 3 – Resultados da ANOVA do planejamento fatorial completo

Fatores e Interações (x)	TS	WA	MOE
Sp	0,704	0,008	0,238
Pre	0,003	0,000	0,984
Co	0,006	0,598	0,000
NA	0,000	0,542	0,001
SPxPre	0,096	0,183	0,185
SPxCo	0,145	0,235	0,322
SPxNA	0,000	0,000	0,000
PrexCo	0,183	0,522	0,097
PrexNA	0,211	0,000	0,000
CoxNA	0,003	0,000	0,000
SPxPrexCo	0,172	0,376	0,233
SPxPrexNA	0,313	0,296	0,127
SPxCoxNA	0,140	0,116	0,359
PrexCoxNA	0,481	0,215	0,480
SPxPrexCoxNA	0,332	0,423	0,361
Validação da ANOVA			
AD	0,188	0,327	0,126
Bt	0,213	0,156	0,439

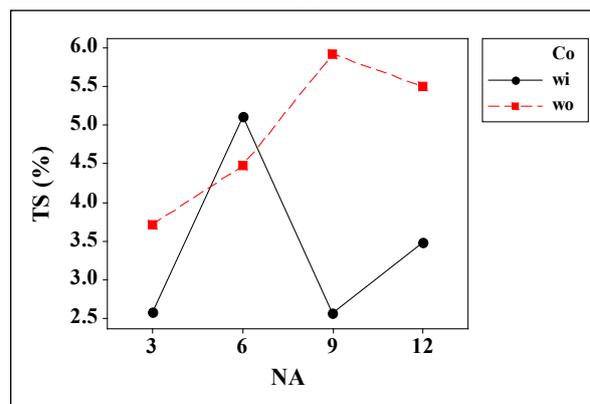
Fonte: dados da pesquisa

Da Tabela 3, os fatores individuais foram parcialmente significativos nas propriedades avaliadas. Dos efeitos de interação, apenas alguns entre dois fatores foram considerados significativos. A Figura 2 apresenta os gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para o inchamento em espessura.

Figura 2 – Gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para o inchamento em espessura - SPxNA (a) e CoxNA (b)



(a)



(b)

Fonte: dados da pesquisa

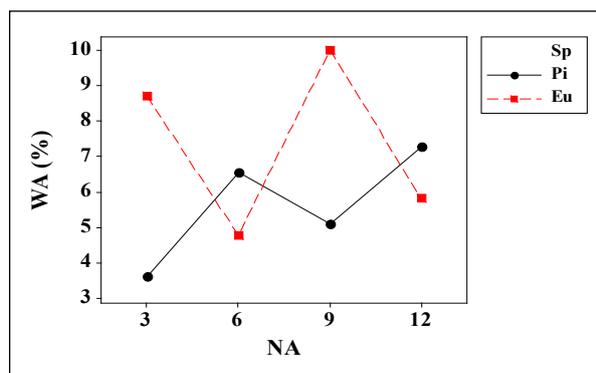
Para os painéis fabricados com Eucalipto, houve acréscimo nos valores médios no inchamento em espessura (Figura 2a), entre 3 e 6 meses de exposição ao intemperismo, entretanto, entre 6 e 12 meses, houve decréscimo. Para os painéis fabricados com Pinus, houve oscilação entre 3,5% e 4,2% no inchamento em espessura durante os 12 tempos de exposição às condições climáticas.

Em relação à cobertura com resina poliuretana de mamona, foi possível verificar que os painéis tratados superficialmente apresentaram menores valores médios de inchamento em espessura quando

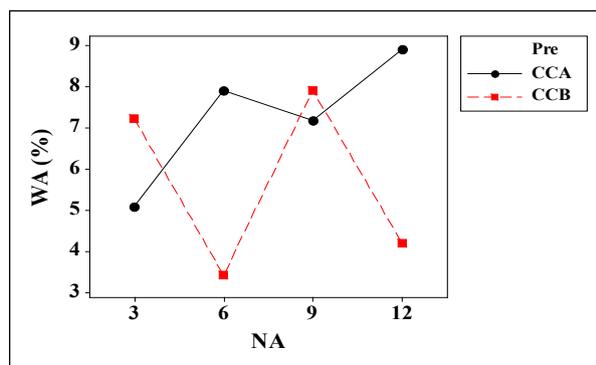
comparados com os painéis sem tratamento, exceto aqueles que permaneceram expostos ao intemperismo durante 6 meses (Figura 2b).

A Figura 3 ilustra os gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para absorção de água.

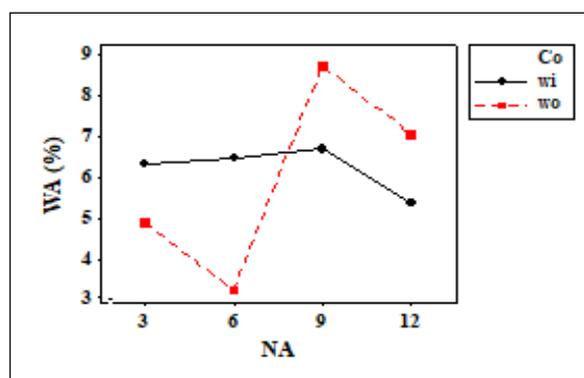
Figura 3 – Gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para absorção de água - SP×NA (a), Pre×NA (b) e Co×NA (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: dados da pesquisa

Pela análise da interação entre fatores considerados significativos pela ANOVA (Figura 3), é possível verificar que, para 6 meses de exposição ao intemperismo, os painéis de Pinus, aqueles tratados com CCA e os painéis com tratamento superficial apresentaram maiores valores médios de absorção de água. Durante nove meses de exposição, os painéis fabricados em Eucalipto, aqueles tratados com CCB e os painéis sem tratamento superficial apresentaram os maiores valores de absorção de água.

Após o período considerado para exposição ao intemperismo (12 meses), a maior absorção de água foi obtida pelos painéis fabricados com Pinus. Os painéis fabricados com partículas pré-tratadas com CCB apresentaram os menos valores médios em absorção de água.

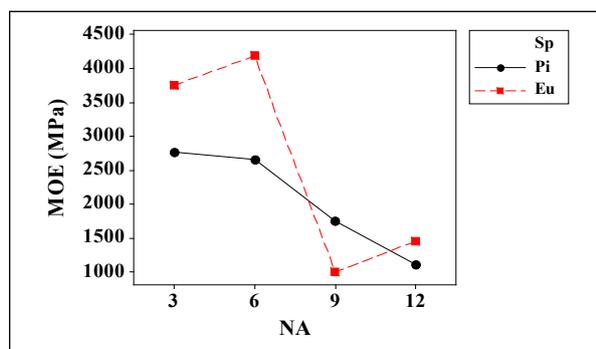
Pela análise da Figura 3c, é possível verificar que, entre 6 e 9 meses de exposição ao intemperismo, os painéis sem tratamento superficial superam os painéis tratados em relação aos valores médios de absorção de água. Isso sugere a importância do plano de manutenção de painéis submetidos à exposição ao intemperismo, para minimizar os efeitos da absorção de água nestes, em possíveis aplicações na construção civil.

A Figura 4 (página seguinte) apresenta os gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para o módulo de elasticidade na flexão estática.

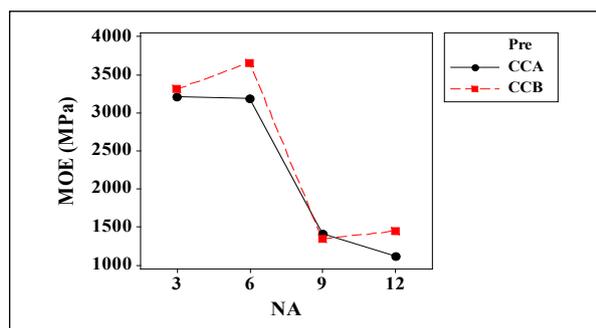
Sobre a análise da Figura 4, é possível verificar que, após o tempo de exposição ao intemperismo estudado nesta pesquisa (12 meses), os painéis fabricados com Eucalipto e aqueles fabricados com partículas de CCB apresentaram maiores valores médios no MOE.

Na análise da Figura 4c, é possível verificar que, entre 6 e 9 meses, os painéis expostos ao intemperismo com tratamento superficial apresentaram diminuição nos valores médios do MOE. Ao mesmo tempo, ainda analisando a Figura 4c, observa-se que no mesmo período de exposição houve acréscimo de absorção de água dos painéis, influenciando negativamente suas propriedades mecânicas, com a diminuição do módulo de elasticidade.

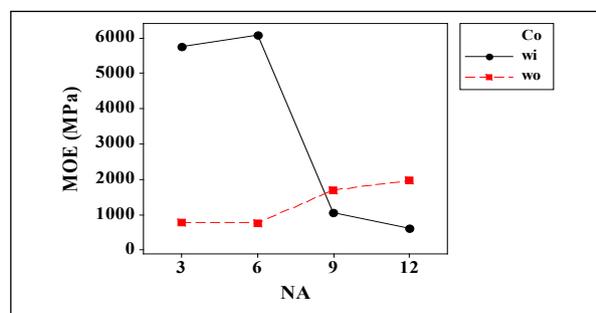
Figura 4 – Gráficos de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA para o módulo de elasticidade na flexão estática - SPxNA (a), PrexNA (b) e CoxNA (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: dados da pesquisa

Na Tabela 4 são apresentados os resultados (agrupamentos) do teste de Tukey dos fatores individuais para as três propriedades investigadas do planejamento fatorial completo (TS, WA, MOE).

Da Tabela 4, é possível verificar, para o fator espécie, que houve diferença significativa nos valores médios para a absorção de água. O pré-tratamento das partículas com CCA ou CCB não influenciou significativamente apenas o módulo de elasticidade na flexão estática dos painéis. O tratamento superficial dos painéis influenciou significativamente o inchamento em espessura e o módulo de elasticidade.

O período de exposição entre 3 e 6 meses não influenciou significativamente os valores médios das propriedades TS e MOE, e o mesmo foi observado entre 9 e 12 meses; entretanto, entre 6 e 9 meses de exposição ao intemperismo, é possível observar que há diferença significativa nos valores médios de TS e MOE (Tabela 4). Para a absorção de água (WA), é possível verificar que não há diferença significativa entre os diferentes períodos de exposição ao intemperismo (3, 6, 9 e 12 meses).

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados (agrupamentos) do teste de Tukey das propriedades mecânicas (TS, WA, MOE, MOR, IB, SPf, SPt) obtidas dos painéis fabricados considerando apenas o período de 12 meses de envelhecimento natural com madeira de Pinus (T4, T8, T12, T16) e de Eucalipto (T20, T24, T28, T32) com as propriedades físicas e mecânicas dos painéis das condições de referência (PiRCCA, PiRCCB, EuRCCA, EuRCCB), respectivamente.

Tabela 4 – Resultados do teste de Tukey para os fatores investigados do planejamento fatorial completo

Propriedades	Sp		Pre		Co		NA (meses)			
	Pi	Eu	CCA	CCB	wi	wo	3	6	9	12
TS	A	A	A	B	B	A	B	AB	A	A
WA	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A
MOE	A	A	A	A	A	B	A	A	B	B

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 5 – Resultados do teste de Tukey das propriedades físicas e mecânicas dos painéis envelhecidos naturalmente durante 12 meses com os painéis das condições de referência fabricados com madeira de Pinus

Tratamentos	TS	WA	MOE	MOR	IB	SPf	SPt
4	C	B	D	D	A	C	C
8	D	B	BC	CD	AB	C	AB
12	D	B	CD	D	AB	C	BC
16	CD	B	BC	CD	AB	C	AB
PIRCCA	A	A	A	AB	D	B	A
PIRCCB	A	A	AB	AB	D	B	AB

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 6 – Resultados do teste de Tukey das propriedades físicas e mecânicas dos painéis envelhecidos naturalmente em 12 meses com os painéis das condições de referência fabricados com madeira de Eucalipto

Tratamentos	TS	WA	MOE	MOR	IB	SPf	SPt
20	C	CD	D	C	A	C	C
24	D	BC	CD	C	A	C	AB
28	C	BC	CD	C	B	C	BC
32	C	D	D	C	B	C	A
EuRCCA	A	A	A	A	C	A	A
EuRCCB	B	AB	AB	A	C	A	A

Fonte: dados da pesquisa

4 Conclusão

A partir dos resultados e discussões desta pesquisa foi possível concluir:

- A resina poliuretana à base de mamona pode ser utilizada em tratamento superficial de painéis de partículas que sejam empregadas na construção civil expostas ao intemperismo natural, desde que as manutenções das demãos sejam devidamente realizadas;

- Os resultados do teste de Tukey evidenciaram reduções significativas nos valores dos módulos de elasticidade e de resistência na flexão estática e da resistência ao arrancamento de parafuso de topo para os materiais envelhecidos; entretanto, o mesmo não ocorreu com a adesão interna e a resistência ao arrancamento de parafuso de topo, que, para alguns tratamentos, apresentaram valores superiores aos painéis fabricados da condição de referência. Tal

aspecto é devido às características específicas da resina poliuretana à base de óleo de mamona;

- Mesmo após 365 dias de exposição ao intemperismo natural, os painéis apresentaram os valores de MOR, MOE, arrancamento de parafusos topo e face, inchamento e absorção coerentes com os valores recomendados pelas normas;

- No geral, o comportamento dos painéis de partículas foi satisfatório, considerando-se o período de exposição ao intemperismo natural de um ano.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: medium density particleboards. Part 2: requirements and test methods. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ALMEIDA, T. H. *et al.* X-ray diffraction on aged Brazilian Wood Species. **Materials Science and Engineering: B**, v. 246, p. 96-103, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.05.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092151071930159X>. Acesso em: 20 fev. 2020.

ANTUNES, R. *et al.* Propriedades tecnológicas de painéis estruturais Waferboard com tratamento Distilled Tall Oil. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 505-514, 2019. DOI: doi.org/10.18671/scifor.v47n123.12. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr123.aspx>. Acesso em: 19 fev. 2020.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1435**: standard practice for outdoor weathering of plastics. West Conshohocken: ASTM, 1994.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014, 702 p.

COTTA, A. C.; ANDERY, P. R. P. As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 133-152, 2018.

EN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: wood based panel: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels: EN, 1993a.

EN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**: particleboards and fibreboards: determination of swelling in thickness after immersion in water. Brussels: EN, 1993c.

EN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 319**: particleboards and fibreboards: determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Brussels: EN, 1993b.

FERRO, F. S. *et al.* Paineis híbridos OSB/MDP de madeira *Pinus taeda* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 7-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300320>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido>. Acesso em: 20 fev. 2020.

GHOSH, S. C. *et al.* Natural weathering of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) boards modified with functionalised commercial silicone emulsions.

BioResources, v. 4, n. 2, p. 659-673, 2009. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/issues/vol4-issue2/page/2/>. Acesso em: 19 fev. 2020.

HODOUSEK, M. *et al.* Application of paints to decrease air permeability of Oriented Strand Boards. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v. 21, n. 1, p. 105-112, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000110>. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2019000100105. Acesso em: 19 fev. 2020.

KORD, B. *et al.* Evaluation of the mechanical and physical properties of particleboards manufactured from Canola (*Brassica napus*) straws. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v. 18, n. 1, p. 9-18, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000002>. Disponível em:

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2016000100002. Acesso em: 20 fev. 2020.

MENG, Q. *et al.* Failure behaviors of Oriented Strand Board material under quasi-static and dynamic loads. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, n. 3, p. 1-9, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002172](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002172). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0002172>. Acesso em: 20 fev. 2020.

MIRSK, R. *et al.* Construction board resistance to accelerated aging. **BioResources**, v. 15, n. 2, p. 2680-2960, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.2680-2690>. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/construction-board-resistance-to-accelerated-aging/>. Acesso em: 29 fev. 2020.

NASCIMENTO, M. F. *et al.* Efeitos das intempéries na rugosidade de painéis de partículas de *Pinus* sp. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 227-238, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300278>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/73530>. Acesso em: 20 fev. 2020.

NEJAD, M. *et al.* Thermal spray coating: a new way of protecting wood. **BioResources**, v. 12, n. 1, p. 143-156, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.143-156>. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/thermal-spray-coating-a-new-way-of-protecting-wood/>. Acesso em: 09 fev. 2020.

OBERHOFNEROVÁ, E. *et al.* The effect of natural weathering on untreated wood surface. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v. 19, n. 2, p. 173-184, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000015>. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v19n2/aop1517.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2020.

POLETO, S. F. S. *et al.* Evaluation of CCB-preserved Medium Density Particleboards under natural weathering. **BioResources**, v. 15, n. 2, p. 3678-3687, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.3678-3687>. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/evaluation-of-ccb-preserved-medium-density-particleboards-under-natural-weathering/>. Acesso em: 09 fev. 2020.

SAHIN, H. T.; ARSLAN, M. B. Weathering performance of Particleboards manufactured from blends of forest residues with Red Pine (*Pinus brutia*) wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 337-346, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300009>. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v13n3/ART09.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SOUZA, A. M. *et al.* Mechanical properties of OSB wood composites with resin derived from a renewable natural resource. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n. 3, p. 157-161, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.cmaterials.20140403.01>. Disponível em: <http://article.sapub.org/pdf/10.5923.j.cmaterials.20140403.01.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SOUZA, J. T. *et al.* Propriedades mecânicas do MDP produzido com partículas de madeira de *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, p. 273-285, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n122.10>. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr122.aspx>. Acesso em: 20 fev. 2020.

VARANDA, L. D. *et al.* Mechanical properties of accelerated aging Particleboards. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 571-578, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n123.18>. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr123/cap18.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

WILCZAK, L. *et al.* Efficiency of Castor Oil-Based Polyurethane in the production of plywood panels. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 463-471, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n123.08>. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr123/cap08.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

ZAU, M. D. L. *et al.* Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia – Cumaru (*Dipterix odorata*) e resina poliuretana à base de mamona.

Polímeros, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1594>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/WBPX96dpmt4H56ncCkbK3LQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 fev. 2020.