

Viabilidade tecnológica do uso da madeira de laranjeira (*Citrus sinensis*) para produção de painel cimento-madeira

Technological viability of orange wood (Citrus sinensis) for cement-wood panel production

Amanda Thayana da Silva Costa 

Rosilani Trianoski 

Setsuo Iwakiri 

Cibelle Amaral Reis 

Resumo

A geração de produtos de madeira reconstituída, como painéis cimento-madeira, promovem a reutilização de resíduos e incentivam o uso de materiais sustentáveis na construção civil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da espécie *Citrus sinensis* para produção de painel cimento madeira, bem como o efeito do pré-tratamento das partículas e da adição de microssilica nas propriedades. As propriedades físico-químicas da madeira provenientes de plantio comercial ao final do ciclo produtivo, localizados no Pará foram avaliadas. Os painéis cimento-madeira foram produzidos com densidade nominal de 1,20g/cm³, utilizando cimento Portland, partículas da madeira sem e com tratamento químico (proporção 2,75:1) e adição de microssilica (10%). As propriedades foram avaliadas conforme normas europeias, e o delineamento estatístico foi em arranjo fatorial. Os resultados mostraram que os pré-tratamentos das partículas, especialmente em água fria e quente, melhoraram as propriedades físico-mecânicas dos painéis. A adição de microssilica não apresentou efeito significativo. Os resíduos da madeira de laranjeira mostraram potencial promissor para a produção de painéis cimento-madeira.

Palavras-chave: Resíduo agroindustrial. Reaproveitamento. Compósito. Microssilica. Construção civil.

Abstract

The manufacture of reconstituted wood products, such as wood-cement panels, promote the reuse of waste and encourage the use of sustainable materials in civil construction. The aim of this study was to assess the technical viability of the *Citrus sinensis* wood waste for the production of wood cement panels, as well as the effect of pre-treating the particles and adding microsilica on the properties. The physical and chemical properties of the wood from commercial plantations at the end of the production cycle, located in Pará (Brazil) were assessed. The wood-cement panels were produced with a nominal density of 1.20g/cm³, using Portland cement, wood particles without and with chemical treatment (ratio 2.75:1) and the addition of microsilica (10%). The properties were evaluated according to European standards using a factorial design. The results showed that pre-treating the particles, especially in cold and hot water, improved the physical-mechanical properties of the panels. The addition of microsilica had no significant effect. Orange wood waste showed promising potential for the production of wood-cement panels.

Keywords: Agro-industrial waste. Reuse. Composite. Microsilica. Civil construction.

¹Amanda Thayana da Silva Costa

¹Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

²Rosilani Trianoski

²Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

³Setsuo Iwakiri

³Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

⁴Cibelle Amaral Reis

⁴Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

Recebido em 25/02/25

Aceito em 27/05/25

Introdução

A espécie *Citrus sinensis*, conhecida como laranja doce, é a mais cultivada e comercializada, especialmente na forma de suco concentrado, sendo o principal produto da citricultura do Brasil (Pineda-Lozano *et al.*, 2022). Entretanto, os resíduos da madeira gerados após a renovação do pomar são frequentemente destinados à queima, tendo alguns embargos da prática das autoridades ambientais local (Bortolan, 2012; Fundecitrus, 2013).

Conforme os dados do IBGE (2023), o Brasil contabiliza um volume significativo de resíduos de madeiras provenientes de *Citrus*, com um total de 575.437 hectares de pomares. As pesquisas disponíveis sobre esta espécie tendem a concentrar-se nos aspectos da fruta, suco, casca, semente e folhas (Giudice, 2022), porém, raramente nas propriedades da madeira (Bruno *et al.*, 2020). Explorar o potencial desse material para a fabricação de painéis pode ser uma alternativa viável e financeiramente sustentável para a indústria de painéis, possibilitando o reaproveitamento dos resíduos e a criação de novos produtos para o setor da construção civil.

Em paralelo ao problema da produção de resíduos gerados após a renovação do pomar, o setor da construção civil no Brasil acompanha a tendência global em direção a um planeta mais sustentável (CBCS, 2011), e está investindo em novos materiais que causem menos impacto ambiental, conhecidos como eco-friendly, especialmente em respostas a diretrizes de documentos como os do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, que alertam sobre os efeitos das mudanças climáticas no planeta (IPCC, 2012).

A construção civil é responsável por 38% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), segundo o relatório de situação global 2020 para Edifícios e Construção (ONU, 2020). Há uma crescente conscientização no setor sobre suas responsabilidades econômicas e sociais, com consumidores priorizando a sustentabilidade nas compras. Investir em habitações sustentáveis é fundamental para promover uma economia de baixo carbono e transitar para fontes de energia limpa, apresentando uma importante oportunidade de investimento para a próxima década (SENAI, 2025).

O intuito é que materiais lignocelulósicos alternativos desempenhem um papel importante no futuro da indústria florestal, devido ao seu volume elevado e à sua ampla disponibilidade (Guler; Copur; Tascioglu, 2007). Vários resíduos agroindustriais têm sido estudados para a produção de painéis cimento-madeira, tais como: bagaço de cana-de-açúcar (Mendes; Guimarães Júnior; César, 2010), fibra de coco (Ferraz *et al.*, 2011; Fiorelli *et al.*, 2012; Cravo *et al.*, 2015), fibra de curauá (Bilcati, 2015), dentre outros. E é de suma importância a ampliação de estudos nesta área para entender as características finais do compósito.

Dentre as vantagens da mistura de partículas de madeira com cimento está a destinação de resíduos agroindustriais (Ruthes *et al.*, 2022), reduzindo o passivo ambiental. Outros benefícios que este produto apresenta são: boa trabalhabilidade; resistência à umidade e agentes xilófagos; isolantes térmico-acústicos; são classificados como materiais não combustíveis; alta durabilidade e são livres de formaldeído (Lopes, 2004). Em contrapartida, suas principais desvantagens são: a elevada densidade; velocidade de cura e principalmente a incompatibilidade do cimento com alguns materiais lignocelulósicos (Savastano Júnior; Warden; Coutts, 2000; Santos *et al.*, 2008).

Muitos estudos indicam maneiras de minimizar o retardamento da cura do cimento ou dos compósitos, como tratamento de partículas ou fibras. Uma dessas abordagens consiste na remoção das substâncias químicas inibidoras (como extrativos solúveis em água ou álcali, carboidratos livres, entre outros) por meio da imersão em água fria durante 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% por 2 horas (Moslemi; Garcia; Hofstrand, 1983; Savastano Júnior; Warden; Coutts, 2000; Sá *et al.*, 2012). Outra maneira é a utilização de aditivos químicos que aceleram a hidratação do cimento, como o cloreto de cálcio (Na; Wang; Wang, 2014; Castro *et al.*, 2015; Lima; Iwakiri; Lomeli-Ramirez, 2015; Cabral; Fiorelli; Savastano Júnior, 2015). De acordo com Lange; Simatupang; Neunauer (1989), a microsilica, entre os aditivos minerais, destaca-se como um dos mais promissores para aplicação em painéis cimento-madeira. A substituição parcial do cimento Portland por sílica possibilita melhorias nas propriedades de resistência de painéis produzidos partindo de espécies de baixa compatibilidade com o aglomerante, desde que a proporção para substituir o cimento na composição esteja alinhada com a aptidão da espécie (Silva *et al.*, 2006). Latorraca (2000) corrobora que o uso da microsilica em painéis impede a passagem de fluídos, o que melhora consideravelmente a qualidade do cimento, aumentando sua resistência à compressão e à tração; e Silva *et al.*, (2006) complementam que essa utilização proporciona resistência à água, levando a uma redução dos poros.

Com base na importância e necessidade do reaproveitamento de resíduos da madeira de laranjeira, bem como na tendência de utilização de materiais mais sustentáveis na construção civil, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da espécie *Citrus sinensis* para a produção de painel cimento-madeira, bem como o efeito do pré-tratamento das partículas e da adição de microsilica sobre as propriedades.

Materias e métodos

Matérias-primas utilizadas

Para a realização desta pesquisa foi utilizada madeira proveniente de plantio comercial de *Citrus sinensis* (antes da renovação do pomar), com idades de 15 a 20 anos, localizado no município de Capitão Poço, na mesorregião do Nordeste Paraense, estado do Pará, e de propriedade da empresa Lima Citros (Cítricos do Pará S/A). Optou-se por utilizar esta espécie de laranjeira uma vez que é a espécie mais cultivada e comercializada da região.

Foram selecionadas dez árvores e a coleta ocorreu de forma visual e aleatória; foram amostrados os troncos e galhos mais grossos com a casca. Após a coleta, o material foi seccionado em discos e toretes e conduzido para determinação das propriedades físico-químicas (discos) e produção dos painéis (torettes).

A propriedade física de densidade básica foi determinada de acordo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003) para tronco e galho (sem casca). As propriedades químicas foram avaliadas separadamente para o tronco, galho e casca e seguindo os procedimentos das normas TAPPI, sendo determinados os extrativos em água fria e em água quente (TAPPI, 1999), extrativos em NaOH 1% (TAPPI, 2002), extrativos totais (TAPPI, 1997) e teor de cinzas (TAPPI, 2002). As análises foram realizadas em triplicata.

Confecção dos painéis

Para a produção dos painéis, os troncos e galhos foram reduzidos a amostras menores em serra de fita e processados em picador de disco para obtenção dos cavacos. Visando o maior aproveitamento do material, bem como pela dificuldade de descascamento da espécie, o material foi processado com a casca. Após a secagem dos cavacos, os mesmos passaram pelo moinho de martelos para a redução das suas dimensões e obtenção das partículas, as quais foram classificadas em peneiras com malhas de 8 e 30 mesh para padronização do tamanho e remoção dos “finos”.

As partículas passaram por pré-tratamentos, sendo eles, imersão em água fria por 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de 1% de hidróxido de sódio por 2 horas, com o objetivo de remoção de extrativos e melhoria da compatibilidade entre a madeira e o cimento. Após a drenagem e lavagem, as partículas foram secas naturalmente até ter de umidade de 12%.

O plano experimental consistiu em três métodos de pré-tratamentos de partículas e adição ou não de microssilica (10%), conforme o Quadro 1. Foram produzidos, também, painéis sem pré-tratamento das partículas (*in natura*), com e sem microssilica, os quais tinham a finalidade de testemunha ou controle.

Para a formação dos painéis foi utilizado cimento CP II-Z como aglutinante mineral, cloreto de cálcio para acelerar o processo de cura do cimento, microssilica como aditivo mineral, e água para hidratação do cimento.

Para a definição da proporção de cada componente na mistura foram consideradas as seguintes relações: madeira/cimento de 1:2,75; água/cimento de 1:2,5 (0,4% em relação ao peso do cimento); 3% de cloreto de cálcio com base no peso do cimento; e 10% de microssilica em relação ao peso do cimento nos painéis em que esta foi inserida. Os cálculos foram efetuados considerando uma massa específica nominal do painel de 1,20 g/cm³ e 3 repetições por tratamento. Após serem pesados corretamente, os componentes foram misturados em uma betoneira para formar uma mistura homogênea.

Quadro 1 - Plano experimental

Tratamento	Pré-tratamento partículas	Aditivo
1 T	Partícula não tratada	sem microssilica
2 T		com microssilica
3 T	Imersão em água fria - 24h	sem microssilica
4 T		com microssilica
5 T	Imersão em água quente - 6h	sem microssilica
6 T		com microssilica
7 T	Imersão NaOH 1% - 2h	sem microssilica
8 T		com microssilica

Após a homogeneização do material, o mesmo foi retirado para realizar a pesagem da massa destinada a cada painel. A produção dos colchões foi feita sobre placas metálicas lisas previamente untadas com óleo comum, a fim de facilitar a retirada depois do grampeamento ou prensagem. Em seguida, houve a distribuição aleatória e manual do material em caixa formadora, com dimensões de 50,5 cm de comprimento e 38,5 cm de largura.

Com os colchões formados nas placas metálicas, foram inseridas barras metálicas de 1,25 cm de espessura para controle ou delimitação de espessura, e então empilhados em número de 3, prensados (4 MPa) a temperatura ambiente e grampeados. Após a finalização do período de grampeamento (24 horas), os painéis foram retirados da prensa e alocados em cima de separadores de madeira, em local sombreado ao ar livre, para concluir o restante dos 28 dias do período de cura.

Finalizado o período de cura, os painéis foram esquadrejados e seccionados para a produção de corpos de prova para avaliação das propriedades físicas e mecânicas. As propriedades foram avaliadas de acordo com a metodologia preconizada pelas normas europeias, sendo elas, massa específica aparente (CEN, 2002a), absorção de água e inchamento em espessura (CEN, 2002b), flexão estática (CEN, 2002c) e tração perpendicular (CEN, 2002d). Foram utilizados 6 corpos de prova por painel para cada propriedade avaliada, totalizando 18 corpos de prova por tratamento.

Os resultados obtidos para as propriedades da madeira e para os painéis foram submetidos a análise estatística por meio dos testes de outliers, normalidade de dados e homogeneidade de variância. Para a propriedade de densidade básica foi efetuada uma análise descritiva simples e para as propriedades químicas foi realizada uma análise de variância simples com comparação de médias de Tukey. Em relação aos painéis cimento-madeira foi aplicada uma análise de variância em arranjo fatorial 3x2 (3 pré-tratamentos de partículas e 2 condições de microssilica). Rejeitada a hipótese de nulidade foi aplicada a comparação de médias de Tukey. Todos os testes foram efetuados no Programa *Statgraphics Centurion XIX*, a 95% de confiabilidade. Ademais, as médias obtidas para cada uma das propriedades dos painéis foram comparadas com os requisitos do processo Bison e CETRIS.

Resultados e discussão

Densidade básica

A densidade básica média obtida para o tronco foi igual a 0,593 g/cm³ e para o galho foi de 0,651 g/cm³, totalizando uma média de 0,622 g/cm³ – com coeficiente de variação de 7,64%, sendo classificada como madeira de média densidade segundo Melo, Coradin e Mendes (1990), Vale, Brasil e Leão (2002), Vale, Sarmento e Almeida (2005) Coradin e Muñoz (1992) e Silva *et al.* (2019).

Os valores de densidade obtidos neste estudo são similares a outros estudos que avaliaram a espécie *Citrus sinensis*, como por exemplo, ao de Kravetz e Brito (2014), que obtiveram uma densidade média de 0,60 g/cm³ em material oriundo da região de São Paulo. Por outro lado, é superior à média mencionada por Silva *et al.* (2018), que encontraram valor de 0,54 g/cm³ em material proveniente da mesma região abordada neste trabalho e inferior as médias relatadas por Kesik *et al.* (2017), que variaram entre 0,76 g/cm³ e 0,79 g/cm³ em pomar na Turquia, e de Berti *et al.* (2018), que obtiveram, para plantios no sul da Itália, média de 0,67 g/cm³. Essas diferenças podem ser atribuídas a origem e a idade das árvores, diferença genética e condições de crescimento.

Em termos comparativos com *Pinus*, gênero mais comercializado e estudado, Trianoski (2012) estudou oito variedades e encontrou valores que variaram de 0,389 g/cm³ a 0,489 g/cm³, sendo considerada uma madeira leve. Entretanto, essas espécies pertencem a grupos arbóreos distintos: enquanto a espécie *Citrus sinensis* faz parte das angiospermas, o *Pinus* é categorizado como gimnosperma, o que resulta na principal diferença nas densidades de suas madeiras.

Sobre à influência da densidade da madeira nos painéis cimento-madeira, observa-se que, para garantir uma razão de compactação eficaz da chapa, é recomendável a utilização de madeira de densidade média e baixa; pois proporciona melhor contato entre as partículas/aglomerante, resultando em características mais elevadas nos painéis. Desta forma, quanto menor a densidade da madeira, maior será a razão de compactação, e consequentemente menor a absorção de água e maior a resistência mecânica (Iwakiri, 2005; Sá *et al.*, 2010).

Caracterização química

Os resultados médios das propriedades químicas (Tabela 1) indicaram diferença estatística significativa para extração em água fria, entre as porções avaliadas, em que a casca (14,42%) apresentou maior valor, enquanto

o menor valor foi obtido para o tronco (2,84%). A casca possui altas concentrações de taninos, açúcares, gomas e corante (extraíveis em água fria) quando comparada a madeira (Oliveira *et al.*, 2005). Os valores para tronco e galho foram inferiores ao relatado por Kesik *et al.* (2017), que obteve média de 6,80% para madeira de laranjeira.

Em relação aos extrativos em água quente, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre os valores do tronco e do galho (5,03% e 5,70%, respectivamente), porém ambos diferiram da casca, que apresentou valor médio de 16,14%. Assim como ocorre na solubilização dos extrativos em água fria, a extração em água quente também remove gomas, taninos, açúcares e corantes, além do amido (Minini, 2024), e a casca possui estes componentes em maior quantidade quando comparada com a madeira.

Para extrativos solúveis em hidróxido de sódio (NaOH 1%), os valores para o tronco (19,36%) e o galho (20,59%) não apresentaram diferença estatística entre si, mas ambos diferiram da casca (50,99%), que apresentou um valor muito acima das outras porções. Os valores médios obtidos foram superiores aos encontrados por Kesik *et al.* (2017), que relataram média de 14,30% para a madeira desta espécie. O uso de hidróxido de sódio é responsável pela extração de terpenos e fenóis, substâncias comumente associadas à durabilidade natural da madeira e proteção contra agentes xilófagos (TAPPI, 1997).

Os valores médios percentuais dos extrativos totais solúveis em etanol/tolueno presentes no tronco (5,04%) e galho (6,05%) não diferiram entre si, porém foi observada diferença estatística significativa em relação à casca (17,84%). Normalmente as cascas possuem teores de extrativos superiores que suas respectivas madeiras (Lamounier, 2010). De acordo com Fengel e Wegener (1989), a quantidade de extrativos e composição depende de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência, contudo, aproximadamente de 3 – 10% da madeira seca é constituída de extrativos. As folhosas possuem teores de extrativos que variam de 2% a 4%, podendo chegar a valores superiores a 10% dependendo da região (Fengel; Wegener, 1989). Além da resistência natural, o teor de extrativos também influencia em outras propriedades da madeira, como permeabilidade, densidade e dureza (Pettersen, 1984), e especificamente na produção de painéis cimento madeira, na incompatibilidade entre a madeira e cimento ou retardamento do cimento, gerando um painel com baixa resistência físico-mecânica.

Por fim, foi constatada diferença significativa para o teor de cinzas entre as 3 porções avaliadas, todas estatisticamente diferentes entre si, sendo o valor médio do tronco (1,60%) superior ao do galho (1,17%) e inferior a casca (8,52%). A média do material da madeira (tronco e galho – 1,39%) foi inferior ao determinado por Kesik *et al.* (2017), que obtiveram valor de 2,42% para a mesma espécie. Essa diferença pode estar relacionada aos fatores de sítio, principalmente às características do solo. Os valores médios do tronco e do galho estão dentro da faixa de variação de 0,1% a 5,4% para os materiais inorgânicos em madeira, conforme Tsoumis (1991), já a casca, apresentou valor superior. Em relação ao efeito das cinzas ou materiais inorgânicos na mistura de madeira e cimento, um alto teor de cinzas poderia agir como material pozolânico. A sílica pode reagir com o hidróxido de cálcio e formar uma quantidade extra de gel C-S-H, responsável pela resistência do cimento (Biricik *et al.*, 1999).

Tabela 1 - Propriedades químicas da espécie *Citrus sinensis*

Propriedade Química	Tronco	Galho	Casca
Água fria (%) ¹	2,84 a (0,26)	4,20 b (0,33)	14,42 c (0,62)
Água quente (%) ²	5,03 a (0,35)	5,70 a (0,24)	16,14 b (0,55)
NaOH (%) ³	19,36 a (0,25)	20,59 a (0,12)	50,99 b (1,67)
Extrativos totais (%) ⁴	5,04 a (0,09)	6,05 a (0,10)	17,84 b (0,88)
Cinzas (%)	1,60 b (0,11)	1,17 a (0,03)	8,52 c (0,11)

Legenda: médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a confiabilidade de 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%) das amostras. ¹Extrativos solúveis em água fria; ²Extrativos solúveis em água quente; ³Extrativos solúveis em hidróxido de sódio; ⁴Extrativos totais extraídos em etanol/tolueno.

Propriedades dos painéis

Após o processo de cura, os painéis foram conduzidos ao seccionamento, entretanto, as amostras dos painéis testemunha (ou controle), sem e com adição de microssilica não atingiram as condições adequadas de manuseio e corte, conforme a Figura 1. Desta forma, os mesmos foram removidos da avaliação da qualidade dos painéis e análise estatística.

A justificativa para a baixa (péssima) consolidação e manuseio dos painéis testemunhas (sem e com microssilica) pode estar associada à composição química da espécie e às condições de produção, mais especificamente à ausência de ao pré-tratamento de partículas.

Conforme mencionado na metodologia, os painéis foram produzidos utilizando troncos e galhos, ambos com casca, visando o melhor aproveitamento do resíduo da madeira da espécie *Citrus sinensis* quando da renovação dos pomares, bem como, pelo elevado grau de dificuldade de descascamento, o que poderia ser um empecilho ou fator limitante em uma aplicação prática ou industrial.

De acordo com a Tabela 1, os valores médios de extrativos totais foram de 5,04% para o tronco, 6,05% para o galho e 17,84% para a casca. Estes resultados mostram que a madeira de laranja possui teor de extrativos relativamente baixo, no entanto, a casca possui alta concentração, e como o material (tronco + galhos) foi processado totalmente com a casca para a produção dos painéis, os extrativos podem ter afetado significativamente a cura do cimento. Segundo Latorraca, Iwakiri e Lelis (1999), Iwakiri *et al.* (2012, 2017), Sá *et al.* (2012), Castro (2015), Castro *et al.* (2015) e Castro, Parchen e Iwakiri (2018), os extrativos influenciam a interação entre a madeira/material lignocelulósico e o cimento, dificultando a cura e gerando painéis de menor qualidade.

Outro indicativo do provável efeito negativo dos extrativos está relacionado ao pré-tratamento das partículas, verificou-se que, nos painéis testemunha, tanto sem quanto com a adição de microssilica, a ausência de tratamento prévio nas partículas, pode ter resultado na inibição do cimento em relação à madeira, impedindo uma boa cura e consolidação dos painéis. Este fato é consonante com Pimental (2000), Souza (2006) e Iozzi *et al.* (2010), que afirmam que os pré-tratamentos, como água fria, água quente e hidróxido de sódio, aplicados a materiais lignocelulósicos, são capazes de melhorar a interação entre madeira e cimento.

Propriedades físicas dos painéis

Os resultados médios e o coeficiente de variação das propriedades físicas dos painéis cimento madeira estão apresentados na Tabela 2.

Os resultados médios da massa específica dos painéis produzidos com pré-tratamento das partículas em água fria, água quente e NaOH (sem e com adição de microssilica) foram estatisticamente iguais entre si. O maior valor foi obtido no tratamento água fria sem microssilica (1,23 g/cm³) e o menor em NaOH sem microssilica (1,11 g/cm³).

Figura 1 - A - painel sem tratamento de partículas; B - painel com tratamento de partículas

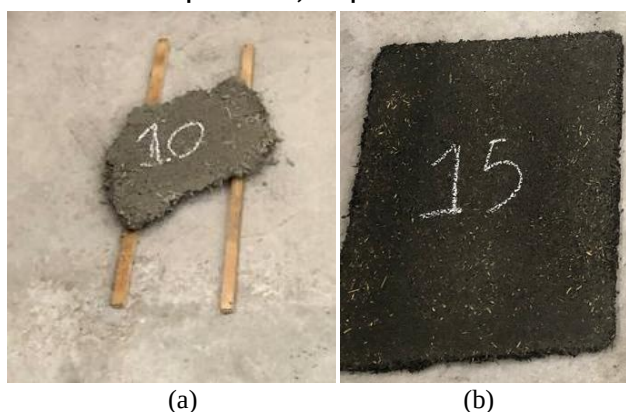


Tabela 2 - Resultados médios das propriedades físicas dos painéis

Tratamentos	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
Painel AF/SM	1,23 a	12,67 b	19,04 b	1,04 a	1,23 a
	(2,04)	(10,06)	(4,16)	(26,03)	(2,84)
Painel AQ/SM	1,20 a	12,74 b	19,65 b	1,11 a	1,61 ab
	(5,82)	(15,18)	(11,75)	(18,29)	(15,87)
Painel NaOH/SM	1,11 a	18,28 a	23,75 a	2,51 b	2,88 b
	(2,32)	(4,87)	(2,99)	(21,00)	(2,54)
Painel AF/CM	1,18 a	13,44 b	17,93 b	1,15 a	1,20 a
	(2,73)	(11,01)	(2,06)	(10,91)	(26,19)
Painel AQ/CM	1,25 a	14,00 ab	17,87 b	0,95 a	1,33 a
	(2,89)	(3,66)	(2,40)	(24,20)	(11,23)
Painel NaOH/CM	1,18 a	17,77 a	20,00 a	1,71 ab	2,38 ab
	(9,24)	(6,95)	(2,36)	(31,35)	(38,04)

Legenda: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%) das amostras. ME: massa específica aparente; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio; SM: sem microssilica; e CM: com microssilica.

Todos os painéis encontram-se na faixa de 1,14 g/cm³ a 1,23 g/cm³ e estão próximos da ME nominal calculada de 1,20 g/cm³ do painel. Os coeficientes de variação, que apresentam em sua maioria baixos valores, sugerem que os processos operacionais utilizados na fabricação de painéis em condições laboratoriais foram apropriados (Iwakiri *et al.*, 2017). Em comparação com a literatura, Iwakiri *et al.* (2017) estudaram o potencial uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis cimento-madeira e obtiveram médias que variaram de 1,14 g/cm³ a 1,27 g/cm³.

Os resultados de AA após 2 horas variaram de 18,28% para os painéis com tratamento NaOH sem microssilica e 12,67% para água fria sem microssilica. Os painéis AF/SM (12,67%), AQ/SM (12,74%) e AF/CM (13,44%) foram semelhantes entre si, porém diferiram do NaOH/SM (18,28%) e NaOH/CM (17,77%).

Pomarico (2007) encontrou valores médios de AA após 2h, com os mesmos tratamentos de partículas em clones de eucalipto, de 2,92% a 12,50%, estes inferiores aos encontrados nesta pesquisa. Okino *et al.* (2004) ao estudar a viabilidade de utilização de quatro clones de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. para painéis cimento madeira (e com a adição de microssilica) obtiveram valores de 11,25% a 16,85%, sendo similares aos encontrados para laranjeira. Os resultados desta pesquisa para AA 2h, são, ainda, similares aos apresentados por Castro (2015), que analisando oito espécies de madeiras tropicais, obteve médias que oscilaram entre 13,86% e 19,79%. Em comparação com painéis cimento madeira de *Pinus taeda*, produzidos nas proporções madeira/cimento de 1:2,5 e 1:3,0, Iwakiri *et al.* (2017) encontraram valores médios de 7,00% e 7,59%, respectivamente, sendo estes, inferiores a absorção de água apresentada pelos painéis produzidos com madeira de laranjeira.

Para AA 24 horas, os valores médios variaram de 17,87% para os painéis com tratamento AQ/CM a 23,41% para os painéis NaOH/SM. O tratamento NaOH/SM apresentou média estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

Em termos comparativos, as médias obtidas para AA 24 horas estão superiores aos encontrados por Silva *et al.* (2006), que ao estudar *Eucalyptus urophylla* com a adição de microssilica em três porcentagens (0, 20% e 30%) obtiveram valores médios de 10,46%, 8,83% e 10,41%, nesta ordem. No entanto, os valores são semelhantes aos encontrados para painéis de cimento-madeira para espécies tropicais e comerciais, como: *Shizolobium amazonicum* (23,22% a 25,27%), *Cecropia hololeuca* (17,64% a 20,86%), *Hevea brasiliensis* (12,44% a 23,56%), *Pouteria guianensis* (15,28%), *Eucalyptus grandis* (15,15% a 20,34%), *Eucalyptus dunii* (14,24% a 20,30%) *Eucalyptus saligna* (29,11%) e *Pinus* sp. (28,45%) (Iwakiri *et al.*, 2012, 2017; Marchesan *et al.*, 2022; Castro; Paechen; Iwakari, 2018; Iwakiri; Prata, 2008; Castro *et al.*, 2015).

Com base nos resultados da Tabela 2, todos os painéis produzidos sem e com adição de microssilica, independente do tratamento das partículas, atenderam às exigências do fabricante de chapas de cimento-madeira CETRIS (2004), que especifica o valor máximo de absorção de água permitido para as chapas de cimento-madeira em 32%. Sendo assim, os resíduos lignocelulósicos de laranjeira utilizados nesta pesquisa para a confecção de painéis de cimento-madeira enquadram-se neste requisito.

Os valores médios obtidos para IE após 2h variaram de 0,95% para painéis AQ/CM a 2,51% para painéis NaOH/SM. Os painéis AQ/CM (0,95%), AF/SM (1,04%), AQ/SM (1,11%) e AF/CM (1,15%) foram semelhantes estatisticamente entre si, porém diferiram do tratamento NaOH/SM (2,51%).

Em termos comparativos com a literatura, Iwakiri *et al.* (2017) encontraram para espécie *Hevea brasiliensis* resultados médios que variaram de 0,54% a 1,21%, sendo inferiores aos obtidos neste estudo. Os valores encontrados por Sá *et al.* (2010) para espécie *Toona ciliata* variaram de 0,37% a 0,97%, também inferiores aos de *Citrus sinensis*. Porém, foram similares aos resultados obtidos por Silva *et al.* (2005) para espécie de *Eucalyptus urophylla*, que também utilizou a casca na mistura para produção de painéis, com médias de 0,68% a 1,25%.

Para IE após 24h os valores médios variaram de 1,61% nos painéis em AQ/SM a 2,88% para os painéis NaOH/SM. Os painéis AF/CM (1,20%), AF/SM (1,23%) e AQ/CM (1,33%) foram semelhantes estatisticamente entre si e diferiram do NaOH/SM (2,88%).

Em relação aos dados encontrados na literatura, Sá *et al.* (2010) relataram que, após 24 horas de imersão em água, os valores médios obtidos para a espécie *Toona ciliata* ficaram entre 0,34% a 0,78%, valores que são inferiores aos observados neste estudo. Entretanto, os painéis produzidos com madeira de laranjeira são consoantes com os valores médios das espécies *Eucalyptus urophylla*, cuja variação foi de 1,20% a 5,54% (Silva *et al.*, 2005), assim como com os valores apresentados pela espécie *Pinus taeda*, que foi de 1,01% (Iwakiri *et al.*, 2017).

Os painéis de cimento-madeira, do ponto de vista comercial, apresentam valores de 1,0% e entre 1,5% a 1,8%, para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, respectivamente (Bison, 1978; CETRIS, 2004). Os resultados obtidos para os painéis produzidos com os resíduos de laranjeira, sendo eles AF/SM e AQ/SM estão conformes com às especificações para produção de painéis comerciais após 24h de imersão.

Os painéis cimento-madeira se destacam pela sua alta estabilidade dimensional, permitindo seu uso em ambientes com grandes variações de umidade (Sá *et al.*, 2010). Estudos realizados por Bilcati (2015) corroboram que os tratamentos de imersão em água (fria, quente e hidróxido de sódio) contribuem para diminuir a variação dimensional, além de melhorar a resistência à umidade, garantindo que esses painéis possuam alta durabilidade.

Os resultados médios dos efeitos principais do pré-tratamento de partículas e adição de microsilica para a massa específica, absorção de água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas estão explanados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados médios dos efeitos principais pré-tratamento das partículas e da microsilica sobre as propriedades físicas

Tratamentos	ME	AA 2h	AA 24h	IE2h	IE 24h
	(g/cm ³)	(%)	(%)	(%)	(%)
Pré-tratamento das partículas					
AF	1,20 a	13,06 b	18,49 b	1,10 b	1,22 b
	(5,70)	(14,77)	(4,46)	(18,12)	(16,51)
AQ	1,22 a	13,37 b	18,76 b	1,03 b	1,47 b
	(6,00)	(14,72)	(9,47)	(20,59)	(16,38)
NaOH	1,14 b	18,02 a	21,88 a	2,11 a	2,63 a
	(9,40)	(8,46)	(9,70)	(30,74)	(29,09)
Aditivo mineral					
Sem microsilica	1,18 a	14,56 a	20,81 a	1,55 a	1,91 a
	(6,54)	(20,94)	(12,27)	(50,51)	(43,58)
Com microsilica	1,20 a	15,07 a	18,60 b	1,27 a	1,63 a
	(5,67)	(15,05)	(5,99)	(35,61)	(45,42)

Legenda: ME: massa específica aparente; AA: absorção de água após 2 ou 24 horas; IE: inchamento em espessura após 2 ou 24 horas; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio. Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a confiabilidade de 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%) das amostras.

Os resultados apresentados (Tabela 3) indicaram que o efeito principal pré tratamento das partículas influenciou significativamente todas as propriedades físicas. O tratamento das partículas em água fria e água quente apresentaram resultados estatisticamente equivalentes, gerando painéis mais estáveis em comparação com os painéis produzidos com hidróxido de sódio. Embora o hidróxido de sódio promova uma maior solubilização e remoção de extrativos e carboidratos presentes em materiais lignocelulósicos, o que deveria ter refletido na melhoria da interação entre a madeira e o cimento, e assim resultado em um painel de melhor qualidade, isso não foi observado no presente estudo, fato que pode estar associado a um provável efeito residual de NaOH nas superfícies das partículas.

Ao analisar o efeito da adição de microssilica nos painéis pode-se perceber que este aditivo, de maneira geral, não afetou significativamente as propriedades físicas. Este resultado difere do esperado, já que, partículas de microssilica proporcionam uma melhor adesão, principalmente na interface entre a matriz e o agregado, reduzindo os poros, e assim, melhorando a estabilidade. Foram observados apenas ligeira redução do inchamento em espessura.

Sob uma perspectiva econômica, optar por não utilizar esse aditivo pode levar a uma redução nos custos tanto do processo quanto do produto final.

Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados médios para ligação interna (LI), módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) a flexão estão presentes na Tabela 4.

Os resultados da análise estatística das propriedades mecânicas dos painéis indicaram que houve diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos para todas as propriedades avaliadas.

Para a ligação interna o menor valor foi para o tratamento produzido com partículas tratadas em NaOH e sem microssilica (0,50 MPa) e maior valor encontrado foi a partir do tratamento cujas partículas foram tratadas previamente em água quente e sem microssilica (0,97 MPa), sendo estes estatisticamente diferentes. Não foi constatada diferença estatística significativa entre os demais tratamentos. Quando comparados à exigência mínima estabelecida pelo processo Bison (1978), que é de 0,4 MPa, esses resultados são considerados satisfatórios, indicando conformidade.

Com relação a outras pesquisas publicadas, os resultados obtidos para os painéis produzidos com resíduo de *Citrus* foram semelhantes às encontradas por Sá *et al.* (2010), que analisaram a espécie *Toona ciliata* de quatro locais e obtiveram resultados médios que variaram de 0,94 MPa a 1,15 MPa; e de pinus tropicais, com médias que variaram de 0,41 MPa a 0,85 MPa (Iwakiri *et al.*, 2017). Os resultados foram superiores à painéis produzidos com a espécie *Eucalyptus urophylla*, com e sem inclusão de casca, cujos valores médios variaram entre 0,33 MPa a 0,68 MPa em estudo conduzido por Silva *et al.* (2005), e à painéis produzidos com as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, com faixa de variação de 0,28 MPa a 0,47 MPa em pesquisa realizada por Iwakiri e Prata (2008).

Tabela 4 - Resultados médios das propriedades mecânicas dos painéis

Tratamento	LI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Painel AF/SM	0,86 ab (18,27)	2,77 b (18,08)	1729,24 bc (15,00)
Painel AQ/SM	0,97 b (18,06)	2,50 b (13,51)	1726,19 bc (8,03)
Painel NaOH/SM	0,50 a (20,00)	1,29 a (16,01)	865,93 a (21,74)
Painel AF/CM	0,78 ab (17,33)	2,04 ab (22,02)	1137,19 ab (29,36)
Painel AQ/CM	0,86 ab (27,75)	2,99 b (10,18)	1935,74 c (15,85)
Painel NaOH/CM	0,59 ab (8,60)	1,33 a (26,13)	954,75 a (30,56)

Legenda: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%) das amostras. LI: ligação interna ou tração perpendicular ao plano do painel; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio; SM: sem microssilica; e CM: com microssilica.

Para o módulo de ruptura, os valores médios variaram de 1,29 MPa encontrado a partir do painel NaOH/SM e 2,99 MPa no painel AQ/CM. Os painéis NaOH/SM e NaOH/CM foram estatisticamente semelhantes entre si, enquanto diferiram dos painéis AF/SM, AQ/SM e AQ/CM, que se mostraram semelhantes entre eles. Os efeitos dos tratamentos nas partículas, e principalmente do aditivo mineral proporcionaram um aumento significativo nos valores de MOR, exceto no tratamento água fria.

Comparativamente aos valores citados na literatura, os resultados médios obtidos nesta pesquisa foram inferiores ao valor mínimo estabelecido pelo processo Bison (1978), sendo este de 8,82 MPa. Em relação à pesquisas disponíveis na literatura, apresentaram valores inferiores a outras espécies, como: paricá, que teve valores de 6,48 MPa a 7,91 MPa (Iwakiri *et al.*, 2012); embaúba, com valores de 6,81 MPa a 8,32 MPa (Iwakiri *et al.*, 2012); cedro australiano, com médias de 11,00 MPa a 6,36 MPa (Sá *et al.*, 2010); quaruba-verdadeira, jatobá e cedro cujos valores médios foram de 4,21 MPa, 7,56 MPa e 9,10 MPa, respectivamente (Macedo *et al.*, 2012); e *Pinus taeda* com média de 3,90 MPa (Iwakiri *et al.*, 2017). Entretanto, os painéis produzidos com partículas tratadas previamente com água fria e com microssilica (2,99 MPa), água fria sem microssilica (2,77 MPa) e água quente sem microssilica (2,50 MPa) foram superiores aos encontrados por Souza *et al.* (2021), que produziram painéis de cimento-madeira com fibra de coco e obtiveram valor médio de 2,15 MPa.

Os resultados do MOE seguiram as mesmas tendências identificadas para o MOR, isto é, as menores médias foram observadas nos painéis NaOH/SM (865,93 MPa) e no NaOH/CM (954,75 MPa) e as mais elevadas foram registradas nos painéis AQ/CM (1.935,74 MPa) e AF/SM (1.729,24 MPa). Também foi evidenciado que os pré-tratamentos das partículas, assim como a utilização do aditivo mineral proporcionaram um expressivo aumento nos valores do MOE, exceto em condição água fria. Iwakiri e Prata (2008) afirmam que tratamentos de partículas podem não ser eficientes e suficientes para melhorar as propriedades dos painéis cimento-madeira para determinadas espécies.

Os painéis de resíduos de laranjeira, que incluem tratamento das partículas e adição ou não de microssilica não atenderam às especificações mínimas de MOE exigidas para painéis comerciais do processo Bison (1978), que é de 3.000 MPa. Foram inferiores também a outras espécies, como: *Hevea brasiliensis*, que obteve médias de 2.877 MPa a 3.932 MPa (Iwakiri *et al.*, 2017); *Eucalyptus saligna*, com valor médio de 2.522 MPa (Castro *et al.*, 2015); e *Toona ciliata*, com médias entre 4.270,61 MPa a 4.696,56 MPa (Sá *et al.*, 2010). Por outro lado, são similares aos valores médios de quatro espécies de eucalipto (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora*), com valores entre 1.840 MPa a 3.390 MPa em estudo conduzido por Latorraca (2000), e semelhante a espécie comercial *Pinus taeda*, cujo valor médio encontrado foi de 1.943 MPa a partir de estudo realizado por Iwakiri *et al.* (2017).

Os valores baixos observados para o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade dos painéis com resíduos da madeira de laranjeira, podem ser explicados pela elevada presença de extrativos, especialmente na casca, e pela composição química dessa madeira. Esses fatores têm o potencial de influenciar o processo de cura do cimento e afetar as propriedades mecânicas dos painéis (Nazerian; Gozali; Dahmardeh, 2011; Castro; Parchen; Iwakiri, 2018).

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise fatorial para o efeito do pré-tratamento nas partículas e do aditivo mineral (microssilica).

Os painéis produzidos com tratamentos das partículas em água fria e água quente apresentaram valores médios de ligação interna estatisticamente iguais entre si e superiores aos painéis gerados com partículas tratadas em NaOH. Para o módulo de ruptura, os tratamentos de partículas em água fria e água quente foram semelhantes entre si e diferiram do tratamento NaOH. Em relação ao módulo de elasticidade, painéis produzidos com partículas tratadas em água fria e água quente apresentaram médias estatisticamente superiores em comparação ao tratamento hidróxido de sódio. É importante inferir que, para as três propriedades mecânicas analisadas, o tratamento de partículas apenas em água, sem aditivo químico, proporciona resultados satisfatórios, o que pode reduzir custos, especialmente com NaOH, bem como, com tratamento de efluentes gerados a partir deste produto químico.

Ademais, o uso de água para a remoção dos extrativos na produção de painéis pode aprimorar consideravelmente a qualidade do produto, além de ser uma alternativa mais econômica em comparação aos solventes orgânicos (Bufalino *et al.*, 2013).

Tabela 5 - Resultados médios dos efeitos principais pré-tratamento das partículas e da microssilica sobre as propriedades mecânicas

Tratamentos	LI	MOR	MOE
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Pré-tratamento das partículas			
AF	0,82 b	2,40 b	1433,21 b
	(16,78)	(24,22)	(29,33)
AQ	0,91 b	2,74 b	1830,97 b
	(21,45)	(14,41)	(13,21)
NaOH	0,54 a	1,31 a	910,34 a
	(16,16)	(19,64)	(24,71)
Aditivo mineral			
Sem microssilica	0,77 a	2,18 a	1440,45 a
	(31,97)	(34,46)	(32,27)
Com microssilica	0,74 a	2,12 a	1342,56 a
	(24,53)	(37,19)	(39,19)

Legenda: LI: ligação interna ou tração perpendicular; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio. Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a confiabilidade de 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%) das amostras.

Os resultados da análise fatorial mostraram que a adição de microssilica não contribuiu para a melhoria das propriedades mecânicas, não sendo observada diferença estatística significativa em nenhuma das propriedades avaliadas. Essa constatação, apesar de não esperada, pode trazer informações importantes do ponto de vista econômico, já que a este aditivo mineral possui preço mais elevado que o cimento. Segundo Silva *et al.* (2006), a substituição parcial do cimento por microssilica possibilita melhorias nas propriedades de resistência de painéis produzidos partindo de espécies de baixa compatibilidade com o aglomerante, desde que a proporção para substituir o cimento na composição esteja alinhada com a aptidão da espécie. Talvez, a quantidade de 10%, utilizada neste estudo, não tenha sido adequada para a espécie *Citrus sinensis*.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a madeira de *Citrus sinensis* possui massa específica média adequada para a produção de painéis cimento madeira.

Os valores médios das propriedades químicas indicaram que a madeira de *Citrus sinensis* (tronco + galhos) apresentam valores compatíveis com a literatura para angiospermas, e inferiores à casca. A casca apresentou elevados teores de extrativos, o que possivelmente prejudicou a interação entre o material lignocelulósico e o cimento.

A utilização de pré-tratamentos das partículas contribuiu para a qualidade físico-mecânica dos painéis, com destaque para os tratamentos em água fria e em água quente.

A adição da microssilica, nas condições deste estudo, não apresentou efeito significativo sobre as propriedades dos painéis, o que simplifica o processo de produção e pode torna-lo mais viável economicamente.

Além disso, os tratamentos com água fria e água quente, sem o uso de microssilica, tiveram os melhores resultados, apresentando painéis de cimento-madeira mais resistentes. Ademais, esses métodos tornam o processo mais econômico e de fácil aplicação.

A avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis cimento-madeira produzidos com a espécie *Citrus sinensis* mostrou-se coerente quando comparada aos valores de referência encontrados na literatura para outros espécies e aos apresentados pelo processo Bison.

A madeira (ou material lignocelulósico) de *Citrus sinensis* apresentou potencial de utilização como matéria-prima para a produção de painéis cimento-madeira destinados à construção civil, demonstrando potencial especialmente para utilização em paredes externas, agregando valor a este resíduo obtido ao final da vida útil do pomar e contribuindo para produtos mais sustentáveis.

References

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- BERTI, S. *et al.* Orange wood for parquet and engineered flooring use. **BioResources**, v. 13, n. 1, p. 586-96, 2018.
- BILCATI, G. K. **Produção de painéis de cimento Portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. Curitiba, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Setor de Materiais e Componentes de Construção, Curitiba, 2015.
- BIRICIK, H. *et al.* Study of pozzolanic properties of wheat straw ash. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 637-643, 1999.
- BISON. **Wood-cement board**. Berlin: Springer, 1978.
- BORTOLAN, F. P. Questões ambientais que envolvem a erradicação dos pomares de laranja. **Revista Coopercitrus**, v. 309, 2012.
- BRUNO, M. R. *et al.* Chemical analysis and antioxidante Properties of orange-tree (L.) biomass extracts obtained via diferente extraction techniques. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 14, n. 3, p. 509-520, 2020.
- BUFALINO, B. *et al.* Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.
- CABRAL, M. R.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JÚNIOR, H. Study of the potential use of the sugarcane bagasse in cement-panels. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE SCIENCE AND TECHNOLOGY, Lisbon, 2015. **Proceedings [...]** Lisbon, 2015.
- CASTRO, V. G. **Espécies da Amazônia na produção de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação**. Curitiba, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2015.
- CASTRO, V. G. *et al.* Painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 349-360, 2015.
- CASTRO, V. G.; PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S. Produção de painéis cimento-madeira pelo método de vibro-compactação. **Ciência da Madeira**, v. 9, n. 3, p. 134-142, 2018.
- CETRIS. **Cement bonded particleboard**. Nov. 2004. Disponível em: <https://www.cetris.cz/>. Acesso em: 02 dez. 2024.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Condutas de sustentabilidade no setor imobiliário residencial**. São Paulo, 2011. 92 p. Disponível em: <http://www.secovi.com.br/files/Arquivos/caderno-de-sustentabilidade---online.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- CORADIN, V. T. R.; MUÑIZ, G. I. B. **Normas para procedimentos em estudos de anatomia da madeira**: I. Angiospermae. II. Gimnospermae. Brasília: IBAMA/LPF, 1992. (Série Técnica, 15).
- CRAVO, J. C. M. *et al.* Paineis aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: wood-based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas: 2002c.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**: particleboards and fibreboards: determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas: 2002b.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 319**: particleboards and fibreboards: determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas: 2002d.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 322**: particleboards and fiberboards: determination of humidity. Bruxelas: 2002a.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Remagen-Oberwinter: Kessel, 1989.

- FERRAZ, J. M. *et al.* Effectes of treatment of coir fiber and cement/fiber ratio on Properties of cement-bonded composites. **BioResources**, v. 6, n. 3, p. 3481-3492, 2011.
- FIORELLI, J. *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficiente product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.
- FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. CDA passa a emitir laudo de queima de planta. **Notícias Fundecitrus**, v. 4, n. 19, marc./abr. 2013.
- GIUDICE, V. **Characterization of particleboards produced with Orange (*Citrus sinensis* L.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood species using modified starch as adhesive**. Potenza, 2022. Tese (Doutorado em Agricultural, Forestry and Food Sciences, Curriculum Agricultural, Forest and Environmental Sciences) – Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università Degli Studi della Basilicata, Potenza, 2022.
- GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut (*Arachis hypoqaea*) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioressource Techonology**, v. 99, p. 2893–2897, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Produção de laranja**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/pa>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 582 p. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IOZZI, M. A. *et al.* Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 25–32, 2010.
- IWAKIRI, S. *et al.* Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobeum amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v.18, n.2, p. 303–308, Lavras, jun. 2012.
- IWAKIRI, S. *et al.* Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 151-159, mar. 2017.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.
- IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 18, p. 68-74, 2008.
- KESIK, H. G. *et al.* **Physical, Chemical and mechanical Properties of orange (*Citrus X sinensis* (L.) Osbeck) wood**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316042480_PHYSICAL_CHEMICAL_AND_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_ORANGE_Citrus_X_sinensis_L_Osbeck_WOOD. Acesso em: 02 jul. 2025.
- KRAVETZ, C.; BRITO, J. O. Densidade básica e extrativos da madeira de laranjeira. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP, 22., São Paulo, 2014. **Anais [...]** São Paulo, 2014.
- LAMOUNIER, K. C. **Estudo dos polifenóis, atividade antioxidante e antimicrobiana da madeira e da casca *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud**. Uberlândia, 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.
- LANGE, H.; SIMATUPANG, M. H.; NEUNAUER, A. Influence of latent hydraulic binders on the properties of wood-cement composite. In: INORGANIC BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS, eua, 1989. **Proceedings [...]** USA, 1989.
- LATORRACA, J. V. de F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- LATORRACA, J. V.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 76–82, 1999.
- LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S.; LOMELÍ-RAMIREZ, M. G. Study of the interaction of Portland cement and *Pinus* wood for composites using Bragg sensors in optical fibers. **BioResources**, n. 10, v. 4, p. 6690-6704, 2015.

LOPES, Y. L. V. **Utilização da madeira e casca de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira**. Lavras, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MARCHESAN, R. *et al.* Painel cimento-madeira produzido por compactação vibro dinâmica no sul do Tocantins. In: OLIVEIRA, R. J. **Engenharia Florestal: contribuições, análises e práticas em pesquisa**. Guarujá: Editora Científic Digital, 2022.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais [...]** Campos do Jordão, 1990.

MENDES, R. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; CÉSAR, A. A.S. Efeito da incorporação da casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.

MININI, D. **Propriedades da madeira de desbastes de *Khaya grandifoliola* proveniente de quatro regiões climáticas do Brasil**. Curitiba, 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2024.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood – Portland cement – water systems. **Wood and Fiber Science**, v. 15, n. 2, p. 164–176, 1983.

NA, B.; WANG, Z.; WANG, H. Wood-cement compability review. **Wood Research**, v. 59, n. 5, pp. 813-826, 2014.

NAZERIAN, M.; GOZALI, E.; DAHMARDEH, M. The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement past and cement-bonded particleboards. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 11, n. 12, p. 2186-2192, 2011.

OKINO, E. Y. A. *et al.* Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. **Arg. Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p. 451-457, 2004.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Environment programme. **Global Alliance for Buildings and Construction**. 2020. Disponível em: <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>. Acesso em: 14 fev. 2025.

PETTERSEN, R. C. Chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (ed.) **The chemistry of solid wood**. Washington: Amercian Chemical Society, 1984.

PIMENTAL, L. L. **Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea***. Campinas, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PINEDA-LOZANO, J. E. *et al.* The biological effect of orange (*Citrus sinensis* L.) byproducts on metabolic biomarkers: a systematic review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, n. 6, 2022.

POMARICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de *Eucalyptus* na produção de painéis cimento-madeira**. Lavras, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, Lavras, 2007.

RUTHES, H. C. *et al.* Physical-mechanical analysis of wood-cement composites and use of micromechanical models to predict their properties. **Revista Principia**, v. 59, n. 4, 2022.

SÁ, V. A. *et al.* Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var *australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.

SÁ, V. A. *et al.* Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 549-557, 2012.

SANTOS, R. C. *et al.* Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 241-250, 2008.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cemente and Concrete Composites**, v. 22, n. 25, p. 379-384, 2000.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Construções verdes**. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/05/v6ebook-construcoes-verdes-cbic-ifc-senai-edge.pdf>. Acesso em: 14 de fev. 2025.

SILVA, F. R. R. *et al.* Propriedades físicas da madeira de laranjeira, *Citrus sinensis*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., João Pessoa, 2018. **Anais [...]** João Pessoa, 2018.

SILVA, G. C. *et al.* Produção de compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.59-67, 2005.

SILVA, G. C. *et al.* Produção de painéis de cimento-madeira com adição de diferentes proporções de casca de microssilica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 61-70, 2006.

SILVA, J. G. M. *et al.* Qualidade da madeira de mogno brasileiro plantado para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 1-12, 2019.

SOUZA, A. A. C. **Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira**. Belém, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Setor de Construção Civil, Belém, 2006.

SOUZA, M. J. C. *et al.* Wood–cement boards with addition of coconut husk. **Ciência e Engenharia de Materiais de Madeira**, v. 17, n. 6, p. 617–626, 2021.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 204 CM**: solvente extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 207 CM**: water solubility of wood and pulp. Atlanta, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 211 om**: ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 212 om**: one percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta, 2002.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. Curitiba, 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécie do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília – DF. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Os dados de pesquisa só estão disponíveis mediante solicitação.

Amanda Thayana da Silva Costa

Conceitualização, Redação do manuscrito original, Curadoria de dados, Análise de dados, Metodologia.

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal | Universidade Federal do Paraná | Av. Prefeito Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico | Curitiba - PR - Brasil | CEP 82590-300 | E-mail: amandathcosta@gmail.com

Rosilani Trianoski

Conceitualização, Metodologia, Supervisão, Redação do manuscrito original.

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal | Universidade Federal do Paraná | E-mail: rosilani@ufpr.com

Setsuo Iwakiri

Conceitualização, Metodologia, Supervisão.

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal | Universidade Federal do Paraná | E-mail: setsuo.ufpr@gmail.com

Cibelle Amaral Reis

Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal | Universidade Federal do Paraná | E-mail: cibelleareis@gmail.com

Editor: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Julio Cesar MoLina**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.