
Influência de tratamento superficial em serragem de bioargamassas

Influence of surface treatment on bio mortars sawdusts

Influencia del tratamiento superficial en los serrines de bio morteiros

Gláuber V. Santos Lima

Engenheiro civil

glauber_slima@hotmail.com

Werllem C. Fernandes Almeida

Engenheiro civil

werllem_fernandes@hotmail.com

Túlio da S. Trindade

Engenheiro civil

tulio.engcivil@hotmail.com

Andrielli Morais de Oliveira

Universidade Federal de Goiás

andriellimorais@ufg.br

Carolina Coelho da Rosa

Universidade Federal do Pará (UFPA)

carolinacrosa@gmail.com

Resumo

A reciclagem e a reutilização são formas de reduzir o descarte de resíduos ao meio ambiente e de aumentar o ciclo de vida dos materiais com eficiência, valores sustentáveis e econômicos agregados. A extração e o beneficiamento de madeira legal na região norte no Brasil ocasionam um elevado volume de resíduos, os quais, no momento, não possuem destino ou reaproveitamento em larga escala. Adicionalmente, há potencialidade do uso destes rejeitos, nomeados de serragem, em matrizes cimentícias formando compósitos de bioargamassas com a ressalva de potencial degradação da matriz, quando a serragem é aplicada sem tratamento superficial. Assim, o presente artigo avalia a interveniência do uso de serragem tratada, em substituição parcial ao agregado miúdo natural, em compósitos de bioargamassa. Para tanto, um tratamento superficial de baixo custo financeiro e de fácil execução na serragem à base de detergente neutro em solução à temperatura de 80°C foi aplicado. Ensaios no estado fresco e no estado endurecido nas argamassas sem serragem e na bioargamassa foram realizados. Como resultado, a incorporação de ar e a retenção de água foram maiores para a bioargamassa, provavelmente pela porosidade da serragem, enquanto que a densidade de massa apresentou menor valor. A bioargamassa apresentou menor

resistência à compressão e menor resistências à tração por compressão diametral. Contudo o acréscimo de resistência à tração por compressão diametral de 7 para 28 dias foi maior para a bioargamassa (52,6%) do que para a argamassa de referência (4,7%). Isso provavelmente pode ser explicado pelo reforço fibroso da serragem controlando parte da propagação de fissuras sob cargas. Por fim, a bioargamassa também apresentou maior índice de vazios (%), menor absorção por imersão e maior absorção capilar, comparadas as argamassas sem serragem. Estes resultados abrem a perspectiva de uso da serragem na construção civil em diversos componentes de sistemas construtivos, ao mesmo tempo que dá um destino apropriado a ela.

Palavras-chave: Serragem. Resíduos. Tratamentos. Argamassas. Detergente.

Abstract

Recycling and reuse are ways to reduce waste disposal into the environment and to increase the life cycle of materials with efficiency, sustainable and economic. The extraction and processing of legal wood in the northern region of Brazil causes a high volume of waste, which, at the moment, has not destination or large-scale reuse. Additionally, there is a potential for the use of these wastes, called sawdust, in cementitious matrices compounding bio-mortar composites, with the exception of potential degradation of the matrix when the sawdust is applied without surface treatment. Thus, this paper evaluates the intervention of the use of treated sawdust, in partial replacement of fine natural aggregate, in bio-mortar composites. For this purpose, a surface treatment of low financial cost and easy to carry out in sawdust based on neutral detergent in solution at a temperature of 80°C was applied. Tests in the fresh state and in the hardened state in mortars without sawdust and in the bio-mortar were realized. As a result, air incorporation and water retention were higher for bio-mortar, probably due to sawdust porosity, while mass density was lower. Bio-mortar had lower compressive strength and lower tensile strength by compression strenght. However, the increase in tensile strength from 7 to 28 days was greater for the bio-mortar (52.6%) than for the reference mortar (4.7%). This can probably be explained by the fibrous reinforcement of the sawdust controlling part of the crack propagation under loads. Finally, the bio-mortar also had a higher void index (%), less absorption by immersion and greater capillary absorption, compared to mortars without sawdust. These results open the perspective of using sawdust in civil construction in various components of construction systems, while giving it an appropriate destination.

Keywords: Sawdust. Waste. Treatments. Mortars. Detergent.

Resumen

El reciclaje y la reutilización son formas de reducir la eliminación de residuos en el medio ambiente y de aumentar el ciclo de vida de los materiales de forma eficiente, sostenible y económica. La extracción y procesamiento de madera legal en la región norte de Brasil provoca un alto volumen de residuos, que, por el momento, no tiene destino ni reutilización a gran escala. Además, existe un potencial para el uso de estos desechos, llamados aserrín, en matrices cementosas que componen bio-morteros compuestos, con la excepción de la posible degradación de la matriz cuando el aserrín se aplica sin tratamiento superficial. Así, este trabajo evalúa la intervención del uso de aserrín tratado, en sustitución parcial de áridos naturales finos, en bio-morteros compuestos. Para ello, se aplicó un tratamiento superficial de bajo costo económico y fácil de realizar en aserrín a base de detergente neutro en solución a una temperatura de 80 ° C. Se realizaron ensayos en estado fresco y endurecido en morteros sin aserrín y en el biomortero. Como resultado, la incorporación de aire y la retención de agua fueron mayores para el biomortero, probablemente debido a la porosidad del aserrín, mientras que la densidad de la masa fue menor. El bio-mortero tenía menor resistencia a la compresión y menor resistencia a la tracción por resistencia a la compresión. Sin embargo, el aumento de la resistencia a la tracción de 7 a 28 días fue mayor para el biomortero

(52,6%) que para el mortero de referencia (4,7%). Esto probablemente se pueda explicar por el refuerzo fibroso del aserrín que controla parte de la propagación de grietas bajo cargas. Finalmente, el biomortero también presentó mayor índice de huecos (%), menor absorción por inmersión y mayor absorción capilar, en comparación con los morteros sin aserrín. Estos resultados abren la perspectiva de utilizar aserrín en la construcción civil en varios componentes de los sistemas constructivos, al tiempo que le dan un destino adecuado.

Palabras clave: Madera. Residuos. Tratamiento. Morteros. Detergentes

Introdução

As fibras vegetais são materiais recicláveis, biodegradáveis, de fontes renováveis e de baixo custo. Além disso, são insumos expoentes e importantes para soluções tecnológicas na construção civil e para habitações e projetos de *design* sustentável. Adicionalmente, elas são uma oportunidade para negócios verdes (*green business*), ensejo para uma gestão mais racional de materiais na engenharia civil e possibilidade de ambientes com maior conforto acústico e térmico (CHIKER; BELKADI AGGOUN, 2021; CLARAMUNT et al., 2011; GLORIA et al., 2021; GUPTA et al., 2020; TOLÊDO FILHO et al., 2003, 2005). Recentemente, as fibras vegetais têm sido empregadas inclusive em compósitos para impressão 3D, porém ainda em matrizes poliméricas (WU et al., 2022).

Compósitos à base de cimento, como exemplo pastas, argamassas e concretos reforçados com fibras e materiais vegetais, também chamados de biomateriais, eco compósitos e materiais *eco-friendly* constituem um grupo distinto de materiais de construção que, além de apresentarem desempenho próximos aos produzidos com fibras sintéticas, podem ampliar estrategicamente áreas de estudo sobre os materiais fibrosos. Esses compósitos cimentícios com fibras vegetais podem contribuir positivamente para implementar cidades mais sustentáveis com redução de ilhas de calor, menor emissão de gases de efeito estufa, racionalização e maior produtividade na construção civil por meio impressão 3D e 4D (três e quatro dimensões) na construção, economia circular regional, dentre outros (AMARAL et al., 2020; FAN et al., 2012; GLORIA et al., 2021; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ et al., 2014; CORINALDESI; MAZZOLI; SIDDIQUE, 2016; USMAN et al., 2018; ZARNA et al., 2021).

Paralelamente, estes materiais vegetais podem também ser interessantes para o uso em componentes e sistemas pré-fabricados, tais como: painéis de

vedação vertical tipo sanduíche, painéis horizontais (forros e pisos), blocos de vedação e *pavers* (GLORIA; TOLEDO, 2021) com os devidos testes de comportamento mecânico, desempenho e durabilidade, conforme normas específicas e norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021a).

A literatura relata que resíduos vegetais de pó de serra (serragem) têm formato micro fibroso e fazem parte do seletivo grupo de materiais provenientes de fontes renováveis, podendo ser utilizados inclusive em substituição parcial de areia ou cimento, desde que estudos comprovem este fato e analise-se a interveniência do resíduo vegetal e sua durabilidade (CHOWDHURY; MISHRA; SUGANYA, 2015; DANTAS FILHO, 2004).

Em complemento, na região Norte, especificamente no sudeste do Pará, o volume de resíduo de madeira gerado pela indústria madeireira é elevado, como consequência da grande extração, corte e beneficiamento de madeiras. Portanto, cerca de 9,7 milhões de m³ de resíduos de madeira serrada são produzidos em toda a região Amazônica, os quais são estocados em grandes volumes ao ar livre, em leitos de rios, aterros sanitários ou ainda incinerados, promovendo a poluição do ar e a emissão de gases de efeito estufa. Neste sentido, estes resíduos ainda não têm alternativas ambientalmente e tecnicamente viáveis para emprego em larga escala (HARRI, 2002). Assim, é imprescindível a criação de alternativas que contribuam para o reaproveitamento destes resíduos e para um maior ciclo de vida deles (CALDAS et al., 2021).

É possível que a adição de serragem, como pó fibroso, na fabricação de argamassas pode reduzir a demanda local por agregado miúdo natural (areia) (SIDDIQUE et al., 2020). No entanto, o uso da serragem *in natura* (sem tratamento) em matrizes cimentícias possui limitação, devido à sua composição orgânica e a sua interação com o Ca(OH)₂ da matriz cimentícia hidratada (mineralização), podendo causar a deterioração das matrizes.

Em outra direção, problemas de compatibilidade entre a serragem e a matriz cimentícia podem ser reduzidos com tratamentos prévios da serragem, os quais diminuem a sua mineralização dentro do compósito (FAN et al., 2012). Assim, vários tratamentos já foram aplicados em materiais vegetais, tais como: imersão em água fria ou água quente a uma temperatura específica (FAN et al., 2012; GARCEZ et al., 2013; IOZZI et al., 2010); imersão em solução alcalina de hidróxido de sódio ou hidróxido de cálcio

(GARCEZ et al., 2016a; IOZZI et al., 2010); uso de aditivos aceleradores de pega como cloreto de cálcio (CASTRO et al., 2014; FAN et al., 2012); além de cloreto de magnésio, recobrimento com cimento mineralizado (FRYBORT et al., 2008; GARCEZ et al., 2016b), entre outros.

Ao mesmo tempo, o menor consumo de cimento no compósito e a utilização de adições minerais pozolânicas reduzem o teor de Ca(OH)_2 na matriz de cimento hidratada e, com isso, a sua degradação (FILHO; AGOPYAN, 1993; SILVA et al., 2010). Frybort et al. (2008) e Lin et al. (1994) adicionaram sílica ativa ao compósito e utilizaram tratamento superficial na fibra vegetal com solução à temperatura de $80 \pm 5^\circ\text{C}$ e com a inclusão de 20% de detergente neutro (IOZZI et al., 2010).

Cabe ressaltar que as fibras podem contribuir para o aumento da resistência e ductilidade do compósito e o comportamento dele decorre em função do teor, das propriedades mecânicas e da morfologia das fibras (IOZZI et al., 2010). Garcez et al. (2013) afirmam que a resistência dos compósitos diminui proporcionalmente com a porcentagem de serragem inserida na mistura, associada à redução de massa específica. Portanto, o aumento da resistência está relacionado diretamente com o teor da fibra até um determinado nível, além do qual o reforço é menos efetivo.

Logo, é objetivo do artigo avaliar a interveniência do uso de serragem tratada, em substituição parcial ao agregado miúdo natural (areia), em compósitos de bioargamassa no estado fresco e no estado endurecido. Para tanto, um tratamento superficial na serragem foi aplicado à base de detergente neutro em solução à temperatura de 80°C . Este tratamento foi escolhido em função do potencial uso em larga escala e do baixo custo agregado. Os ensaios realizados para avaliação da argamassa sem serragem e da bioargamassa foram densidade de massa, índice de consistência, retenção de água, teor de ar, resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias e absorção de água por capilaridade e por imersão, índice de vazios e massa específica na idade de 28 dias.

A contribuição do presente estudo refere-se à possibilidade de uso de serragem em argamassas, chamadas de compósitos de bioargamassa, fornecendo uma perspectiva de destino para este resíduo, o qual hoje é depositado de forma inapropriada em grandes áreas verdes e leitos de rios ou ainda incinerados.

Programa experimental

Materiais utilizados

Os materiais utilizados na pesquisa foram: cimento Portland com grande quantidade de pozolana CP IV, areia natural quartzosa (proveniente de leito de rio), água e resíduo de madeira (serragem). A serragem foi obtida em uma movelaria, localizada no município de Tucuruí-PA e é da espécie Angelim Pedra, nome científico *Hymenolobium petraeum* Ducke. Segundo o IPT (2016), o angelim pedra é um resíduo de madeira muito comum na construção civil. A Figura 1 apresenta o resíduo utilizado no processo de quarteamento, conforme a NM 16915 (ABNT, 2021b).



Figura 1 – Quarteamento da serragem.

Fonte: Autores (2021).

Na Figura 1, percebe-se o processo de quarteamento da serragem em andamento. Após isso, ensaios de absorção de água, granulometria, teor de materiais pulverulentos, massa específica, massa unitária e teor de umidade foram realizados no material. Os mesmos ensaios foram aplicados a areia, com o objetivo de comparar com os valores obtidos para a serragem. A Tabela

1 apresenta os valores médios de três determinações da caracterização dos materiais e a Figura 2 apresenta as curvas granulométricas obtidas.

Tabela 1 – Valores médios de resultados de ensaio de caracterização de areia natural quartzosa (proveniente de leito de rio) e da serragem

Propriedade	Normas	Areia natural	Serragem
Teor de umidade (%)	NBR 9775 (ABNT, 2011a)	3,5	43,7
Teor de materiais pulverulentos (%)	NBR 16973 (ABNT, 2021c)	1,63 (0,65) [40]	0,45 (0,07) [15,8]
Massa unitária (g/dm ³)	NBR 16972 (ABNT, 2021d)	1,54 (0,01) [0,5]	0,26 (0,002) [0,8]
Massa específica (g/cm ³)	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,49 (0,12) [4,8]	1,37 (0,12) [8,9]
Granulometria	Diâmetro máximo (mm) NM 248 (ABNT, 2003)	2,36	2,36
		Módulo de finura 2,53 (1,39) [55,2]	5,59 (4,47) [79,9]
Absorção de água (%)	NBR 16916 (ABNT, 2021e)	0,4 (0,19) [49,4]	7,8 (1,66) [21,3]

() é o desvio padrão baseado em 3 amostras

[] é o coeficiente de variação em porcentagem, baseado na média e no desvio-padrão %.

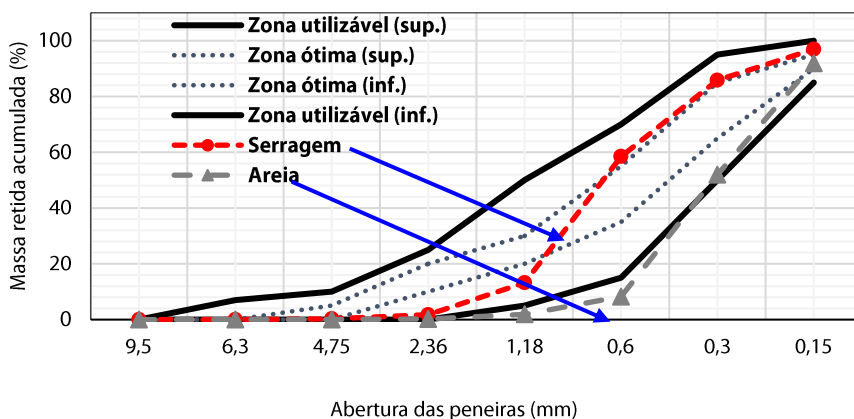


Figura 2 – Curvas granulométricas da areia natural e da serragem e delimitação das zonas utilizável e ótima.

Fonte: Autores (2021).

Observam, na Tabela 1 e na Figura 2, diferenças entre as propriedades analisadas da areia natural e da serragem, sendo este um parâmetro para definição do teor de substituição. Nota-se também que os valores de teor de umidade e de absorção de água da serragem é sobremaneira elevado; enquanto, que os valores de massa unitária e do teor de material pulverulento é bastante inferior, quando comparado a areia natural utilizada.

Uma observação a ser considerada é que na região geográfica testada não há oferta de cal hidratada, tradicionalmente utilizada em argamassas mistas para revestimentos de paredes em outras regiões do país.

Tratamento químico

Após a coleta da serragem e do processo de quarteamento, ela foi seca à temperatura de 35°C até a constância de massa para posterior aplicação de tratamento superficial.

O tratamento químico escolhido para a serragem foi a imersão em solução aquosa à temperatura de 80°C com adição de 20% em volume de detergente neutro, baseando nos experimentos de Iozzi et al. (2010). Este procedimento teve como finalidade a remoção de extrativos orgânicos da serragem que retardam muito o tempo de fim de pega do cimento e promovem a deterioração da matriz cimentícia no estado endurecido. A escolha desse tratamento também se justifica por ser viável para aplicação em grandes volumes de serragem a baixo custo.

Para o tratamento da serragem em solução com detergente foram seguidas as seguintes etapas:

- imersão dos resíduos de serragem em solução de detergente neutro a 20% (em volume), por um período de 1 hora, à temperatura de $80 \pm 2^\circ\text{C}$;
- lavagem dos resíduos com água à temperatura ambiente até que a solução final obtivesse pH neutro e
- secagem dos resíduos tratados em estufa até a constância de massa por quase 12 horas.

A Figura 3 apresenta a relação entre o tempo de secagem após o tratamento e a redução de massa (12%) da amostra de serragem até sua constância de massa.

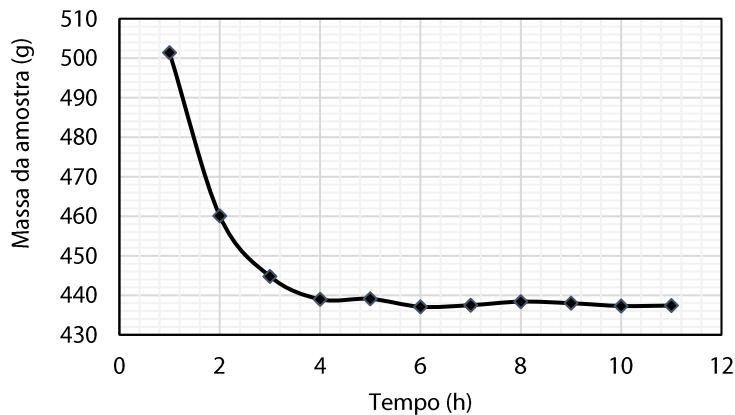


Figura 3 – Relação entre o tempo de secagem da serragem e sua redução de massa após o tratamento com solução de detergente.

Fonte: Autores (2021).

Proporcionamento dos materiais, produção e caracterização

A escolha da proporcionamento dos materiais (traço) foi baseada na NBR 7215 (ABNT, 2019), a qual estabelece um proporcionamento em massa (1:3) para argamassas e a consistência foi fixada em 310 ± 5 cm, com base nos experimentos de Garcez et al. (2013). Os valores utilizados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de materiais, utilizados nas argamassas da pesquisa.

Material	Dosagem de referência	Dosagem de substituição
Cimento Portland (g)	$624 \pm 0,4$	$624 \pm 0,4$
Água (g)	$300 \pm 0,2^*$	$300 \pm 0,2^{**}$
Areia normal (g)	$468 \pm 0,3$	$456 \pm 0,3$
Serragem tratada (g)	-	12^{***}

*relação água/cimento para argamassa de referência: 0,80

**relação água/cimento para argamassa com substituição de areia por serragem: 1,05

*** 2,5% teor de substituição em massa

A produção da argamassa e da bioargamassa foi realizada em misturador mecânico em mesmo tempo de mistura fixo (6 minutos). A relação água/cimento adotada para a argamassa de referência foi de 0,80 e para a argamassa com serragem tratada com detergente foi de 1,05. Foi necessário adicionar mais água na argamassa com serragem para atingir a consistência estabelecida.

Foram realizados os seguintes ensaios no estado fresco: índice de consistência, retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado.

Já em relação aos ensaios no estado endurecido foram realizados: resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias e absorção de água por imersão na idade de 28 dias. Foram testadas 4 réplicas para cada ensaio realizado. A Tabela 3 lista os ensaios realizados e as respectivas normativas técnicas utilizadas para os estados fresco e endurecido da argamassa e da bioargamassa.

Tabela 3 – Lista de ensaios realizados nas argamassas estudadas e as respectivas normativas técnicas utilizadas.

Ensaio nas Argamassas	Normas	
Estado fresco	Índice de Consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
	Retenção de Água	NBR 13277 (ABNT, 2005a)
	Densidade de Massa	NBR 13278 (ABNT, 2005d)
	Teor de Ar Incorporado	
Estado endurecido	Resistência à Compressão Axial	NBR 7215 (ABNT, 2019)
	Resistência à Compressão Diametral	NBR 7222 (ABNT, 2011b)
	Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica	NBR 9778 (ABNT, 2009)
	Absorção de Água por Capilaridade	NBR 9779 (ABNT, 2012)

Apresentação e discussões dos resultados

Ensaio no estado fresco

Resultados das propriedades da argamassa de referência e da bioargamassa no estado fresco estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores obtidos de propriedades no estado fresco das argamassas estudadas.

Tipos de Argamassa	Densidade de massa	Índice de consistência	Retenção de água	Incorporação de Ar
	(g/cm ³)	\bar{D} (mm)	Ra (%)	As (%)
Referência	2,09	307 (6,71) [2,2]	95,73	3,2
Bioargamassa	1,82	309 (5,29) [1,7]	98,63	8,0

() é o desvio padrão baseado em 3 corpos de prova

[] é o coeficiente de variação em porcentagem, baseado na média e no desvio padrão das amostras.

Na Tabela 4, nota-se que os valores dos índices de consistência das argamassas analisadas ficaram próximos, como previsto. Os resultados de incorporação de ar e de retenção de água foram superiores para a bioargamassa em relação aos resultados da argamassa de referência, devido, principalmente, a elevada porosidade da serragem, causando maior acúmulo de água nos vazios dos corpos de prova. Essas propriedades também foram responsáveis por diminuir o valor de densidade de massa e aumentar o valor do teor de ar incorporado na bioargamassa, proporcionando melhor trabalhabilidade às mesmas.

Ensaio no estado endurecido

Resistência à compressão axial

A Tabela 5 apresenta os valores médios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias da argamassa de referência e da bioargamassa.

Na Figura 4 e Figura 5, os resultados médios estão apresentados em forma de curvas tensão (MPa) *versus* tempo de carregamento (segundos).

Tabela 5 – Valores médios de resistências à compressão das argamassas estudadas na idade de 7 e 28 dias.

Propriedades	Resistência 7 dias (MPa)	Resistência 28 dias (MPa)
Argamassa de referência	14,21 (2,26) [15,9]	19,83 (0,77) [3,9]
Bioargamassa	3,62 (2,11) [58,2]	5,47 (3,08) [56,3]

() é o desvio padrão baseado em 4 corpos de prova

[] é o coeficiente de variação em porcentagem, baseado na média e no desvio padrão das amostras %.

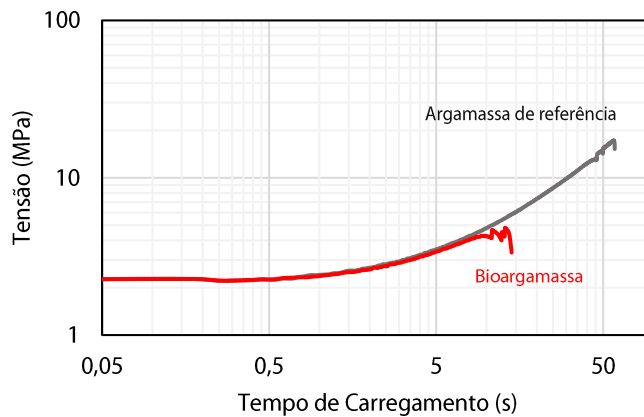


Figura 4 – Resultados médios de resistência à compressão axial das argamassas de referência e da bioargamassa na idade de 7 dias.

Fonte: Autores (2021).

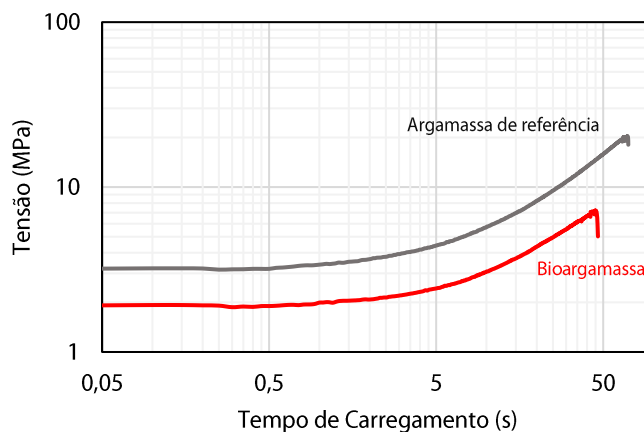


Figura 5 – Resultados de resistência à compressão axial da argamassa de referência e da bioargamassa na idade de 28 dias.

Fonte: Autores (2021).

A partir da Tabela 5, nota-se que a resistência à compressão da bioargamassa é inferior ao de argamassa de referência (sem serragem) nas duas idades consideradas. A bioargamassa apresentou valores correspondentes a 25% e 27% dos valores de resistência à compressão da argamassa de referência nas respectivas idades de 7 e 28 dias. A relação

água/cimento de maior valor (1,05) para a bioargamassa pode ter contribuído para redução da resistência à compressão. Além disso, a própria serragem em si, a quantidade de substituição de areia por serragem e o tipo de tratamento escolhido podem ter influenciado nos resultados obtidos.

O incremento da resistência à compressão de 7 para 28 dias foi superior para a bioargamassa (51%) e 40% para a argamassa de referência. Ao mesmo tempo, no geral a variabilidade nos resultados foi bastante elevada para a bioargamassa, notada por meio do coeficiente de variação e do desvio padrão das amostras.

Da Figura 4, observa-se que a evolução da capacidade de suporte das argamassas nos instantes iniciais é semelhante e depois a bioargamassa apresenta ruptura antes da argamassa com serragem. Na Figura 5, o formato das curvas para argamassas é semelhante, porém inferior para a bioargamassa.

Existem poucas publicações com resultados de ensaios à compressão em compósitos cimento-serragem (TORKAMAN; ASHORI; MOMTAZI, 2014). Porém, sabe-se que há uma relação inversamente proporcional entre o aumento do percentual de resíduos de madeira e a resistência à compressão axial. Bertolini et al. (2014) obtiveram valores de resistência à compressão de 10 MPa para compósitos de serragem de *Pinus sp.* (relação água/cimento de 0,60) tratada com banho de imersão em água.

Resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 6 exibe os valores médios da resistência à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias para a argamassa de referência e para a bioargamassa submetida ao tratamento de detergente neutro. A Figura 6 e Figura 7 também apresentam os resultados em forma de curva tensão *versus* tempo.

Tabela 6 – Valores médios de resistências à tração por compressão diametral da argamassa de referência e da bioargamassa nas idades de 7 e 28 dias.

Propriedades	Resistência 7 dias (MPa)	Resistência 28 dias (MPa)
Argamassa de referência	2,79 (0,10) [3,6]	2,92 (0,23) [7,9]
Bioargamassa	0,78 (0,11) [14,1]	1,19 (0,07) [5,9]

() é o desvio padrão baseado-se em 4 corpos de prova em MPa.

[] é o coeficiente de variação baseado na média e no desvio padrão.

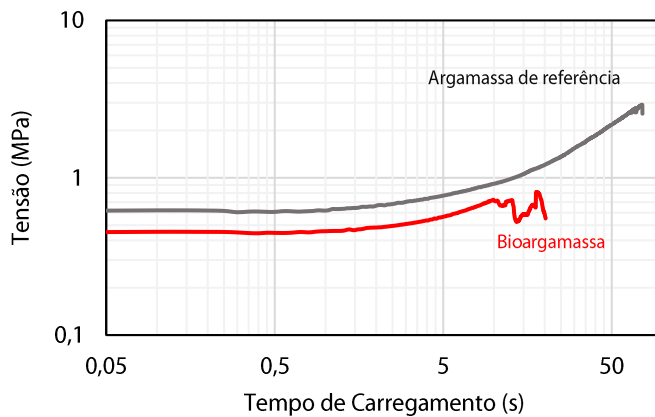


Figura 6 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral das argamassas estudadas na idade de 7 dias.

Fonte: Autores (2021).

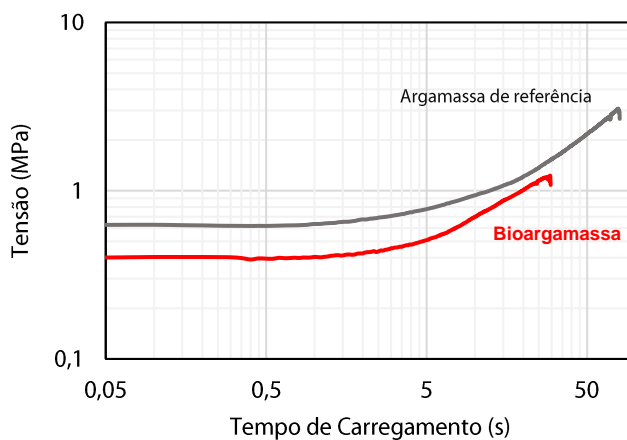


Figura 7 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral das argamassas estudadas na idade de 28 dias.

Fonte: Autores (2021).

Observando-se a Tabela 6, nota-se valores de resistência à tração indireta para a bioargamassa apresenta valores inferiores aos valores da argamassa de referência, independentemente da idade estudada. Este fato também foi visto para a resistência à compressão axial. Contudo, o acréscimo de resistência à tração por compressão diametral de 7 para 28 dias foi maior

para a bioargamassa (52,6%) do que para as argamassas de referência (4,7%). Isso provavelmente pode ser explicado pelo reforço fibroso da serragem, controlando parte da propagação das fissuras sob carga. Esse resultado é promissor para aplicação em painéis de vedação horizontal e vertical.

Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica no estado endurecido e absorção por capilaridade

A Tabela 7 apresenta os resultados de absorção de água por imersão e demais propriedades das argamassas estudadas na idade de 28 dias.

Tabela 7 – Valores obtidos de absorção por imersão, índice de vazios, massa específica e absorção capilar.

Propriedade	Referência	Detergente
Absorção por imersão (%)	4,5 (0,5) [13,0]	2,6 (0,5) [20,0]
Índice de vazios (%)	9,2 (1,2) [13,2]	11,8 (1,0) [18,0]
Massa específica no estado endurecido (g/cm³)	2,03 (0,1) [0,13]	4,90 (0,1) [2,4]
Massa Específica Saturada (g/cm³)	2,13 (0,1) [0,6]	5,02 (0,1) [1,9]
Absorção capilar(g/cm³)	0,23	0,48

() é o desvio padrão baseando-se em 4 corpos de prova
 [] é o coeficiente de variação baseado na média e no desvio padrão em %

Observa-se da Tabela 7 que uma maior absorção de água por imersão para corpos de prova de argamassas de referência, apesar da maior resistência à compressão e tração por compressão diametral analisada anteriormente. A média geral da argamassa de referência foi de 4,5% em relação a bioargamassa (média de 2,60%). Este comportamento está associado a água conduzida durante o ensaio para o interior da argamassa de referência e que ocupa seus poros menos permeáveis. Isto é corroborado pelo maior índice de vazios de poros permeáveis da argamassa com serragem, determinado pelo índice de vazios. A serragem utilizada apresentou menor quantidade de material pulverulento, comparada a areia natural e a sua inclusão na bioargamassa. Enquanto, material em si e de origem orgânica alterou, como esperado, a sinergia das propriedades no estado endurecido. Isto não

significa que a bioargamassa não possa ser utilizada; mas, que estas alterações nas propriedades devem ser consideradas no uso, sobretudo relacionado a questões como estanqueidade.

No que tange a absorção capilar de água, a maior porosidade da bioargamassa atuou de forma inversa à absorção por imersão até porque são ensaios com mecanismos de transporte de água diferentes.

Discussão geral

É possível observar que a inserção de teor de serragem da espécie Angelim Pedra nas argamassas tratadas com detergente neutro em solução no teor de 20% em volume à temperatura de 80°C contribuiu para a diminuição da densidade das bioargamassas e o aumento do consumo de água com a manutenção da consistência. A característica de redução de densidade é interessante para produção de componentes leves, como blocos, painéis de vedação horizontais e verticais, dentre outros.

No que tange ao comportamento mecânico, considerando os limites de resistência, o teor de serragem aplicado não refletiu em acréscimos de resistência das bioargamassas em relação as argamassas de referência, mas ainda assim seus valores ultrapassaram o limite mínimo à tração de 0,2 MPa da NBR 13279 (ABNT, 2005c) e à compressão de 0,1 MPa da NBR 13281 (ABNT, 2005b), tornando possível sua aplicação com a finalidade de argamassa de revestimento, por meio deste parâmetro. Testes de resistência de aderência são necessários para uma avaliação mais completa. Estudos adicionais com outros tipos de tratamentos na serragem e com outros percentuais de substituição são interessantes.

As argamassas não foram testadas abrangendo ensaios mais específicos de durabilidade em condições aceleradas e desempenho em uso, inclusive com variações de temperatura e umidade juntas, índice de fissurações, resistência à tração, entre outros. Elas também ainda não foram testadas quanto a outros ensaios de estanqueidade, comportamento de desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho mecânico (corpo mole e corpo duro), durabilidade (choque térmico), desempenho ao fogo, requeridos quando aplicados como componentes de sistemas de vedação da NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Conclusões

Como conclusões da pesquisa, tem-se:

- a incorporação de ar e de retenção de água no estado fresco foram superiores para a bioargamassa;
- a densidade de massa no estado fresco foi menor para a bioargamassa;
- a bioargamassa apresentou menores resistências à compressão e menores resistências à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias;
- a bioargamassa também apresentou maior teor de vazios e menor absorção por imersão e maior absorção capilar e
- é possível vislumbrar a utilização racional do resíduo produzidos na região sudeste do Pará, reduzindo o impacto ambiental e a perspectiva de uso em vários componentes de sistemas construtivos, mediante ensaios adicionais.

Referências

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *NBR NM 248*: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. *NBR 7215*: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. *NBR 7222*: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011b.

ABNT. *NBR 9775*: Agregados - Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 2011a.

ABNT. *NBR 9778*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. *NBR 9779*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012

ABNT. *NBR 13276*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. *NBR 13277*: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT. *NBR 13278*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ABNT. *NBR 13279*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

ABNT. *NBR 13281*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT. *NBR 15575*: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT. *NBR NM 16605*: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT. *NBR 16887*: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. *NBR NM 16915*: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ABNT. *NBR NM 16916*: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021e.

ABNT. *NBR 16972*: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

ABNT. *NBR 16973*: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

AMARAL, L. F. *et al.* Eco-friendly mortars with addition of ornamental stone waste - A mathematical model approach for granulometric optimization. v. 248, n.1,

2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119283>>.
Acesso em: 10 fev. 2021.

BERTOLINI, M. S. *et al.* Wood-cement composites from wastes of Pinus sp. wood: effect of particles treatment. *International Journal of Composite Materials*, v. 4, n. 2, p. 146-149, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5923/j.cmaterials.20160601.01>.
Acesso em: 10 fev. 2021.

CALDAS, L.R. *et al.* Building materials in a circular economy: The case of wood waste as CO₂-sink in bio concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 166, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105346>>.
Acesso em: 5 fev. 2021.

CASTRO, V. *et al.* Avaliação dos efeitos de pré-tratamentos da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden & Cambage no grau de compatibilidade com cimento Portland. *Revista Árvore*. v. 38, n. 5, p. 945-952, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500018>>.
Acesso em: 10 fev. 2021.

CHIKER T.; BELKADI, A.A.; AGGOUN, S. Physico-chemical and microstructural fire-induced alterations into metakaolin-based vegetable and polypropylene fibred mortars. *Construction and Building Materials*. v.376, n 22, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122225>>.
Acesso em: 10 jan. 2021.

CHOWDHURY, S.; MISHRA, M.; SUGANYA, O. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 6, n. 2, p. 429-437, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005>>.
Acesso em: 15 fev. 2021.

CLARAMUNT, J. *et al.* The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites*. v. 33, n. 5, p. 586-595, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.03.003>>.
Acesso em: 10 fev. 2021.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; SIDDIQUE, R. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. *Construction and Building Materials*. v. 123, p. 281-289, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.011>>.
Acesso em: 15 fev. 2021.

DANTAS FILHO, F. P. *Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural*. 2004. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258507/1/DantasFilho_FlavioPedrosa_M.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2021.

FAN, M. *et al.* Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. *Construction and Building Materials*. v. 36, p. 135–140, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.089>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

FILHO, A. C. C.; AGOPYAN, V. *Argamassas reforçadas com fibra de sisal: comportamento mecânico à flexão*. São Paulo: EPUSP, 1993. 21 p. Disponível em: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00085.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

FRYBORT, S. *et al.* Cement bonded composites - A mechanical review. *Bio-Resources*. v.3, n. 2, p. 602-626, 2008. Disponível em: <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_03_2_0602_CementBondedComposites/205>. Acesso em: 18 fev. 2021.

GARCEZ, M. R. *et al.* Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo. *Ciência & Engenharia*, v. 22, n. 2, p. 95–104, 2013. Disponível em: <<https://1library.org/document/ydx7gr6z-avaliacao-propriedades-mecanicas-concretos-adicao-serragem-substituicao-agregado.html>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

GARCEZ, M. R. *et al.* Cement-wood composites: effects of wood species, particle treatments and mix proportion. *International Journal of Composite Materials*. v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016b. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/5baa/07b1295cc63471f85655edaa7b87be2578df.pdf?ga=2.258476685.680851522.1634603312-1676665538.1628194476>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

GARCEZ, M.R. *et al.* Propriedades mecânicas de compósitos cimento-madeira com serragem tratada de *Pinus elliottii*. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*. v. 7, n.1, p. 16-27, 2016a. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/5083>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

GLORIA, M. Y. R. et al. A comprehensive approach for designing workable bio-based cementitious composites. *Journal of Building Engineering*, v. 34, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101696>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

GLORIA, M. Y. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Innovative sandwich panels made of wood bio-concrete and sisal fiber reinforced cement composites. *Construction and Building Materials*, v.272, n. 22, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121636>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, A. et al. Use of residual agricultural plastics and cellulose fibers for obtaining sustainable eco-composites prevents waste generation. *Journal of Cleaner Production*. v.83, n.15, p. 228-237, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.061>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

GUPTA, S. et al. Application of biochar from coconut and wood waste to reduce shrinkage and improve physical properties of silica fume-cement mortar. *Construction and Building Materials*.v. 262, n.30, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120688>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

HARRI, L. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. Instituto Plantarum. Nova Odessa, SP, 2002. vol. 1. 4ª ed. 368p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Consultas Online*. Informações sobre madeiras: anjelim pedra. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/8.htm>. Acesso em: 13 fev. 2021.

IOZZI, M. A. et al. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. *Polímeros*. São Carlos, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282010005000003>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

LIN, X. et al. Approaches to improve the properties of wood fiber reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Research*. v. 24, n. 8, p. 1558-1566, 1994. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90170-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90170-8)>. Acesso em: 10 fev. 2021.

SIDDIQUE, R. et al. Utilization of treated saw dust in concrete as partial replacement of natural sand. *Journal of Cleaner Production*, v.261, n. 10, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121226>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

SILVA, F. S. et al. Physical and mechanical properties of durable sisal fiber-cement composites. *Construction and Building Materials*. v. 24, pp.777-785, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.030>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

TOLÊDO FILHO, R.D. et al. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement and Concrete Composites*. v. 25, n. 2, p.185-196, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00018-5)>. Acesso em: 8 fev. 2021.

TOLÊDO FILHO, R.D. et al. Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cement and Concrete Composites*. p. 537-546, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.005>>. Acesso em: 01 fev. 2021.

TORKAMAN, J.; ASHORI, A.; MOMTAZI, A. S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials*. v.50, p. 432-436, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.044>>. Acesso em: 6 fev. 2021.

USMAN, M. et al. Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating wood waste as cement replacement: A feasibility study. *Journal of Cleaner Production*. v. 190, n.20, p.679-688, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.186>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

ZARNA C. et al. Reinforcement ability of lignocellulosic components in biocomposites and their 3D printed applications – A review. *Composites Part C*, v.6, p. 100171, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100171>>. Acesso em: 10 out. 2021.

WU, Y. et al. Photo-curing 3D printing of micro-scale bamboo fibers reinforced palm oil-based thermosets composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 152, 106676, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106676>>. Acesso em: 20 out. 2021.