



## DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS ECOLÓGICAS PROJETADAS COM RESÍDUOS DE VIDRO E DE COCO BABAÇU

Fernandes, E.F.S<sup>1\*</sup>; Lima, E. K. A<sup>2</sup>; Silva, H. J. B<sup>2</sup>.; Santos, V. B<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Piauí (UFPI).  
Teresina, PI, Brasil.

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal de  
Pernambuco (UFPE). Recife, PE, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). Teresina, PI, Brasil.

[\\*elainefernandes50@gmail.com](mailto:elainefernandes50@gmail.com)

### RESUMO

O setor construtivo, devido influenciar na economia e sociedade, precisa se adaptar a padrões mais sustentáveis. Nesse estudo desenvolveu-se argamassas usando dois resíduos, pó de vidro (PV) reciclado e fibra tratada de coco babaçu (FT) com as funções, respectivamente, de material cimentício suplementar e reforço mecânico. Em análise, FT tratada com NaOH foi caracterizada por Microscopia Eletrônica de Varredura, na qual apresentou superfície estratificada e sem impurezas. Fluorescência de Raios-X confirmou a pozolânicidade do PV. Argamassas de 0% (referência) e 10%|FT (10% de PV substituindo o cimento e 0,5% de adição de FT) foram testadas quanto à consistência e resistência à compressão (28 dias). A consistência de 10%|FT foi vantajosa, conservou a relação água/cimento presente no compósito contendo as 2 matérias-primas. A resistência à compressão superou o mínimo exigido para a classe AAE8. Portanto, a argamassa 10%/FT mostrou se vantajosa, reciclando resíduos e reduzindo a quantidade de cimento utilizado.

**Palavras-chave:** pó de vidro reciclado, fibra de coco babaçu, argamassa, resistência à compressão.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização, há uma crescente preocupação com os fatores ambientais e utilização de materiais mais ecológicos. Assim, foi compreendendo esse panorama, que se propôs em 2004 as práticas ESG (*Environmental, Social and Governance*) cujo objetivo era alinhar o desenvolvimento econômico com a área ambiental, social e de governança. Desta forma, as empresas podem dispor de tomadas de decisões de investimentos e parcerias com base em outras empresas que possuem o mesmo ideal (1).

Nesse contexto é que atualmente se busca construções mais sustentáveis, tais que: reduzam os gases de dióxido de carbono, óxido de enxofre, óxido de nitrogênio e outros gases poluentes ligados a construção civil (1); e que façam a reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), agroindustriais ou industriais. Por exemplo, a cada tonelada de cimento estima-se que 750 kg de CO<sub>2</sub> seja emitido ao meio ambiente (2). Em 2022, dos 76,1 milhões de toneladas de RSU, 46,4 milhões foram coletados e dispostos adequadamente e 29,7 milhões foram mal geridos, em disposição inadequada que não seguem as medidas necessárias para preservação da saúde e do meio ambiente, como prevê a Lei 12.305/2010 (3,4).

Nos últimos anos a absorção de resíduos, como exemplo, pó de vidro (5), fibra de tamareira (6), fibra de sisal e cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (7), tem melhorado as propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios (8,9). Entretanto, para os resíduos poderem ser adicionados na argamassa e/ou concreto a ponto de apresentarem benefícios, as características (físicas/químicas) individuais destes materiais devem ser analisados.

O vidro faz parte do RSU, é não biodegradável e ocupa grande área nos aterros sanitários (5). Por apresentar propriedades pozolânicas pode ser utilizado como um material cimentício suplementar (MCS) e substituir parcialmente o cimento. Isso ocorre por ser um material rico em sílica no estado amorfo, estar com granulometria adequada e em contato com água (10). Além disto, também apresenta o efeito *filler*, que são micropartículas que preenchem os espaços vazios, contribuindo para o aumento da resistência mecânica, redução da absorção de água e durabilidade da mistura cimentícia (5,11). A substituição do cimento por 10 a 20% vidro (em pó) tem se mostrado os teores mais favoráveis, com resistência mecânica igual ou superior aos compósitos cimentícios de referência (sem presença de vidro) (5,10,12). O

aumento da resistência à compressão e redução da reação deletéria álcali-silica à medida que ocorre a diminuição da dimensão das partículas de vidro de 300 µm a 75 µm, também tem sido considerado (10,13).

A fibra natural é um material abundante, oriundo da natureza, renovável, atóxica, leve, apresenta boa resistência mecânica. Na argamassa apresenta característica de reforço mecânico, onde contribui em maior resistência à flexão, tração, impacto, compressão, baixa densidade e pós-fissuração (6). Entretanto, por vezes se faz necessário tratamento químico superficial, removendo os componentes amorfos e hidrofílicos (hemicelulose e lignina) para que se tenha melhor interação fibra/matriz e conseqüentemente aumento das propriedades físicas e mecânicas (14,15).

Fibra de coco babaçu, é um subproduto da extração do óleo da amêndoa do coco babaçu (*Orbignya speciosa*), o qual é cultivado na região do Piauí, segundo estado com maior produção desse fruto (16). Estas fibras são altamente subvalorizadas, sendo raros os trabalhos de pesquisas sobre sua adição em compósitos cimentícios. Recentemente, Dourado (7) e Alves (18) observaram que a adição de até 1% da fibra de coco babaçu aumentou significativamente a resistência à compressão das argamassas cimentícias em até 70%, comparativamente a argamassa referência.

Até o momento, em um levantamento científico (realizado em maio 2024) nas bases de artigos científicos da *Scopus* e *Web of Science*, observou-se ausência da dupla presença destes resíduos em argamassas e/ou concretos. Neste sentido, objetivo desse trabalho é a formulação e o comportamento mecânico de argamassas cimentícias sustentáveis com a presença do pó de vidro e fibra de coco babaçu, podendo agregar valor a estes resíduos e contribuir para menor impacto ao meio ambiente.

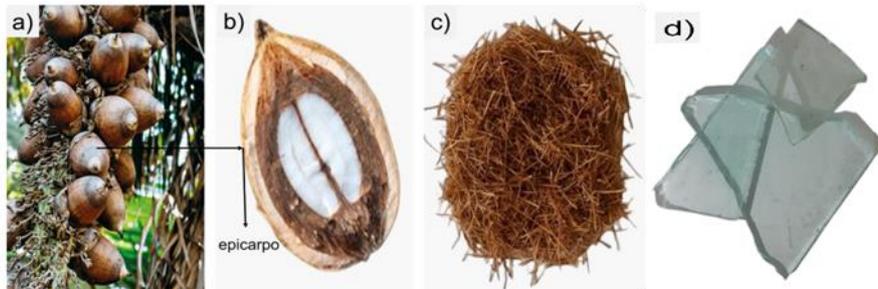
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **MATERIAIS**

Foram utilizados resíduos agroindustriais provenientes do coco babaçu (Figura 1a), especificamente o epicarpo (casca) (Figura 1b) para obtenção das fibras (Figura 1c), e resíduos industriais de vidro sodo-cálcico (Figura 1d), para a fabricação das argamassas. O cimento utilizado foi do tipo CP II-E 32 da marca Poty. A areia ("média

mista") natural foi seca previamente em 100°C/24h. Todos esses materiais e empresas são da região de Teresina, Piauí.

Figura 1. a) Coco babaçu, b) epicarpo (casca) do coco, c) fibras, d) resíduos de vidro.



(Fonte: IBGE, 2019 e Autoria própria, 2023).

## MÉTODOS

No processo de preparação das fibras de coco babaçu, realizou-se o peneiramento, com coleta das fibras retidas na malha nº 16. Uma parte das fibras foi lavada em água corrente e seca em estufa (60°C/24h), enquanto a outra parte, chamada de fibras tratadas (FT), passou pelo mesmo processo de lavagem, seguido por tratamento químico em solução de NaOH (P.A., Vetec) a 5%, em peso, durante 3 horas, com agitação manual a cada 30 minutos. Após o tratamento, essas fibras foram lavadas com água destilada até atingir pH = 7 e secas em estufa (60°C/24h). Fibras lavadas e FT foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV, Quanta FEG-250, metalização de ouro) após a preparação.

Na preparação e caracterização do vidro, o processo começou com a limpeza do vidro (Figura 1d) em água corrente com sabão neutro, seguida de secagem ao ar livre. Em seguida, houve uma redução do tamanho das partículas, primeiro manualmente com almofariz e pistilo e depois usando um moinho de bolas convencional (SOLAB, 200 rpm/8h). Isso resultou em um pó de vidro (PV) com tamanho de partícula de 74 µm, passante da peneira nº 200. A composição química do vidro foi analisada por Fluorescência de Raios-X (FRX, Epsilon 3XL da Panalytical).

Para a preparação da argamassa efetuou-se duas formulações, denominadas de 0% (argamassa referência - sem resíduos) e 10%|FT (argamassa com 10% de substituição de PV ao cimento e 0,5% de adição de FT). Aplicou-se as relações de 1:3

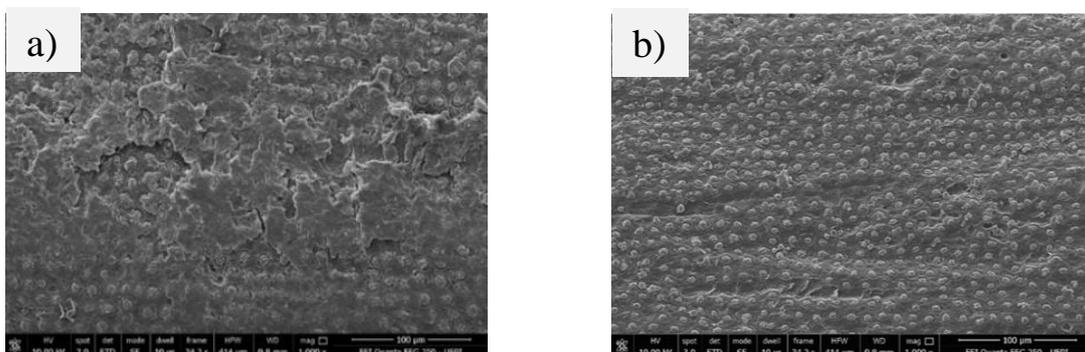
de cimento/areia e 0,7 de água/cimento para os 2 traços de misturas de massas, sendo confeccionado corpos de prova cúbico de dimensão 40 mm<sup>3</sup>, conforme NBR 16868-2 (19), rompidos após 28 dias.

Já para a caracterização, realizou-se o ensaio de determinação do índice de consistência da pasta cimentícia fresca (*Flow table*), conforme a NBR 7215 (20). Mediu-se o diâmetro do espalhamento da massa e aferiu a média de 3 medidas. Executou-se o ensaio de compressão com 5 corpos de prova para cada formulação preparada, com o equipamento EMIC/PC200C, carga de ruptura de 500 ± 50 N/s e a resistência média foi determinada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização por MEV (Figura 2), é possível verificar que o tratamento com NaOH na superfície do filamento propiciou zonas estratificadas com rugosidade (Figura 2b), fator ocorrido devido à eliminação dos componentes não celulósicos (hemicelulose, lignina e ceras) dispostos na superfície da fibra natural (21). A hemicelulose é um composto hidrofílico, presente na parede celular das plantas, formado por vários polissacarídeos vegetais. Já a lignina é quem proporciona rigidez a parede celular da fibra, sendo associada a hemicelulose e celulose (22,23). Visivelmente isto a difere da fibra lavada (Figura 2a) que possui esses elementos e apresenta uma zona lisa em sua superfície. Assim, valida-se a eficiência obtida pelo tratamento químico, o qual consecutivamente influencia na aderência fibra/matriz (24).

Figura 2. MEV da fibra de coco babaçu (a) lavada (b) tratada com NaOH.



Por análise de Fluorescência de Raios-x (FRX, Tabela 1) realizou-se à caracterização do pó de vidro, constando se que o vidro utilizado se refere ao tipo sodo-cálcico (vidro comum), o qual possui predominância, principalmente de SiO<sub>2</sub>

(componente base para formação do vidro), seguidos de CaO e Na<sub>2</sub>O. Segundo Santos e colaboradores (25) o destaque desses elementos é esperado no vidro comum, o qual obteve o somatório desses componentes em 90%. No presente trabalho, a resultante obtida foi de 97,1%.

Tabela 1. Fluorescência de Raios-X do pó de vidro.

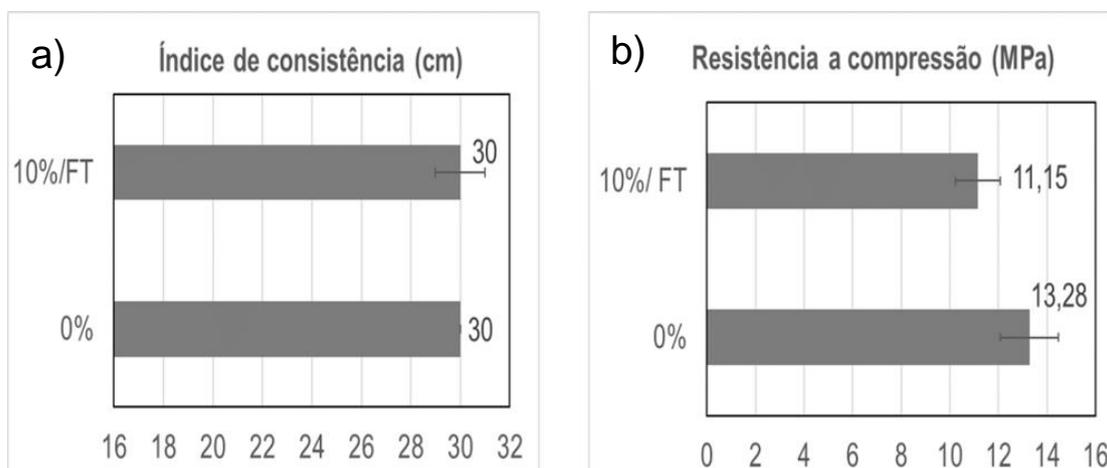
| Composição química | SiO <sub>2</sub> | CaO  | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | SrO |
|--------------------|------------------|------|-------------------|--------------------------------|-----|------------------|-------------------------------|------------------|-----|
| Percentual (%)     | 69,3             | 14,8 | 13,0              | 1,20                           | 0,8 | 0,4              | 0,2                           | 0,1              | 0,1 |

Além disto, o vidro em estudo, cumpre o requisito de pozolanicidade, uma vez que o somatório necessário dos elementos SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resultou em 70,6%, superior à exigida pela NBR 12653 (26), embora não tenha apresentado Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na composição. Segundo esta NBR, para um material ser classificado como pozolânico, se faz necessário que SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ 50%.

Para a consistência da argamassa (Figura 3a), quando considerado os desvios houve razoável aumento no espalhamento para a argamassa de 10%|FT (30,00 ± 1,00 cm) em relação a 0% (30 ± 0,00 cm). O que pode ser justificado pela lubrificação do sistema apresentado devido ao maior empacotamento do sistema, proporcionado pelo efeito *filler* (5) que preencheu os vazios presentes entre a matriz e a fibra. Conforme Carasek e colaboradores (27) há uma maior consistência para argamassas mais empacotadas (densas). Já para amostra 0% não há esse efeito *filler* (adquirido pelo vidro), portanto, se observando uma redução na consistência.

Além disso, durante o ensaio de consistência, observou-se que os rejeitos adicionados não sugaram água da argamassa, conservando a relação água/cimento. Tal característica é um fator positivo e esperado, pois com o tratamento químico na fibra houve a remoção dos elementos hidrofílicos (lignina, hemicelulose e cera). Enquanto que o vidro, por ser um material inorgânico e não higroscópico também não retem a água para si.

Figura 3. Argamassa cimentícia: a) Índice de consistência, b) Resistência à compressão.



Para a resistência à compressão da pasta cimentícia no estado endurecido (Figura 3b), tem-se que a argamassa referência de 0% ( $13,28 \pm 1,19$  MPa) obteve melhor desempenho em comparação 10%|FT ( $11,15 \pm 0,92$  MPa). No entanto, esta formulação 10%|FT atende ao critério de argamassas para assentamento de unidades de alvenaria estrutural (AAE), uma vez que sua resistência à compressão encontra-se dentro do limite recomendado para uso. Segundo a NBR 13281-2 (28), argamassas inorgânicas para AAE, na classe AAE8, deve ter resistência à compressão entre  $8,0 \leq x \leq 12,0$  MPa.

## CONCLUSÃO

Resíduos (vidro e fibra de coco babaçu) na preparação de argamassas cimentícias para a construção civil, podem indicar uma destinação final adequada. FT apresentou superfície estratificada com a remoção dos componentes não celulósicos, através do uso de NaOH, o qual foi eficiente, eficaz, e viável economicamente. Análise de composição química do pó vítreo mostra que atende aos requisitos da NBR 12653 (26) para materiais prozolânicos.

Ensaio de consistência mostra que houve vantagem para o composto 10%|FT, visto que a junção das duas matérias-primas não implicou em maior consumo de água, a qual seria retirada da própria formulação de argamassa. Quanto a resistência à compressão, argamassa 10%|FT ( $11,15 \pm 0,92$  MPa) ficou abaixo da argamassa convencional 0% ( $13,28 \pm 1,19$  MPa). No entanto, a NBR 13281-2, admite que

argamassas tenham resistência à compressão de no mínimo maior ou igual a 8,0 MPa. Portanto, a formulação 10%|FT apresenta resistência recomendado para uso como argamassa cimentícia.

Estes resultados são iniciais e configuram-se em um campo de pesquisa promissor, com reaproveitamento de resíduos (vidro e fibras naturais) para construção civil, podendo contribuir para que esses se transformem em matéria-prima para o desenvolvimento de novos materiais. É uma alternativa favorável de modo socioeconômico e ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC/UFPI, aos laboratórios (Lab. de Materiais de Construção – Dept de Eng. Civil/UFPI, Lab. de Ensaios Mecânicos e Metalografia – Dept de Eng. Mecânica/UFPI, Lab. de Materiais Cerâmicos/UFPI). Ao Babcoall Inc. do Brasil LTDA associada à Incubadora de Agronegócios da UFPI (INEAGRO) e a empresa Fort Glass, respectivamente, pela doação das fibras de coco babaçu e dos resíduos de vidro.

## REFERÊNCIAS

1. LI, T.T., WANG, K., SUEYOSHI, T., & WANG, D. D. ESG: Research progress and future prospects. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11663, 2021. doi.org/10.3390/su132111663
2. ANDREW, R. M.: Global CO<sub>2</sub> emissões da produção de cimento, **Earth Syst. Sci. Data**, 10, 195–217, 2018. doi.org/10.5194/essd-10-195-2018.
3. ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022.
4. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Planalto. Ago. 2010.
5. MORAIS, A.; DOURADO, J. B. O. L.; LIMA., É. K. A.; RESENDE., C. X.; PAZ., G. M.; MATOS., J. M. E.; SANTOS., V. B., Argamassa cimentícia: Uso sustentável de pó fino de vidro reciclado como precursor parcial. **Cerâmica Industrial**, 27(1), 1–11, 2022. doi.org/10.4322/cerind.2022.008.
6. VANTADORI, S.; CARPINTERI, A.; ZANICHELLI, A. Lightweight construction materials: Mortar reinforced with date-palm mesh fibres. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, v. 100, p. 39–45, 2019. doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.12.011.

7. SECCHI, M.; NEVES JUNIOR, A. Adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal. **E&S Engineering and Science**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 2–14, 2019. DOI: 10.18607/ES201987432. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/7432>. Acesso em: 22 maio. 2024.
8. ZANWAR, A. B.; PATIL, Y. D. Enhancement of sustainable mortar by using fine glass powder. Em: **Lecture Notes in Civil Engineering**. Singapore: Springer Singapore, p. 65–72. 2020. DOI: 10.1007/978-981-13-7480-7\_5.
9. MOUDAR, J., EL FAMI, N., DIOURI, A., & TAIBI, M. Characterization of belitic cement mortars elaborated from shell and glass powders, microstructure and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 379, n. 131189, p. 131189, 2023. doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131189.
10. ZHANG, W., LI, S., SONG, L., SHENG, Y., XIAO, J., & ZHANG, T. Studying the effects of varied dosages and grinding times on the mechanical properties of mortar. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 5936, 2023. doi.org/10.3390/su15075936.
11. SAMEN, L. V. E. K. *et al.* Engineering properties of soda-lime glass powder on Portland cement CEM IV-B-L mortar. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 7, n. 1, 2022. doi.org/10.1007/s41024-022-00164-3
12. BENTCHIKOU, M., BOURIAH, S., HAMDANE, N., DEBIEB, F., & BOUKENDAKDJI, O. Comparative study of the properties of mortars with recycled glass aggregates incorporated by addition and substitution. **Energy Procedia**, v. 139, p. 499–504, 2017. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.244.
13. LIU, G.; FLOREA, M. V. A.; BROUWERS, H. J. H. Performance evaluation of sustainable high strength mortars incorporating high volume waste glass as binder. **Construction and Building Materials**, v. 202, p. 574–588, 2019.
14. BENAIMECHE, O., CARPINTERI, A., MELLAS, M., RONCHEI, C., SCORZA, D., & VANTADORI, S. The influence of date palm mesh fibre reinforcement on flexural and fracture behaviour of a cement-based mortar. **Composites. Part B, Engineering**, v. 152, p. 292–299, 2018. doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.07.017
15. MIRANDA, C. S., FIUZA, R. P., CARVALHO, R. F., & JOSÉ, N. M. Effect of surface treatment on properties of bagasse piassava fiber *attalea funifera martius*. **Quimica Nova**, 2014. doi.org/10.5935/0100-4042.20140303.

16. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da Sociobiodiversidade. Brasília, v. 6, n. 1, p. 1-36, 2022.
17. DOURADO, J. B. O. L., ALVES, M. E. R., DE OLIVEIRA JÚNIOR, W. A., DE OLIVEIRA, B. L. M., DE JESUS BEZERRA DA SILVA, H., LÓPEZ-GALINDO, A., VISERAS, C., FURTINI, M. B., & DOS SANTOS, V. B. Babassu fibers as green mortar additives. **Journal of Natural Fibers**, v. 20, n. 2, 2023. doi.org/10.1080/15440478.2023.2256471.
18. ALVES, M. E. R. Melhoria da eficiência física e mecânica em argamassas cimentícias com uso de epicarpo de coco babaçu. 2021. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-2:2020: Alvenaria estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020. 23 p.
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.12 p.
21. FONSECA, R. P. DA; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Influence of different types of treatments on amazonian vegetable fibers on the performance of mortars based on Portland cement, metakaolin and fly ash. **Materials Research**, v. 24, n. suppl 2, 2021.
22. REDDY, R. A.; YOGANANDAM, K.; MOHANAVEL, V. Effect of chemical treatment on natural fiber for use in fiber reinforced composites – Review. **Materials Today: proceedings**, v. 33, p. 2996–2999, 2020.
23. DIAS, L. DE S., BESERRA, A. V. S., DOS SANTOS, R. A., DE SOUSA, A. A., DE LIRA NETO, A. B., DE FREITAS GONÇALVES LANDIM, A. E., BARROZO, G. F., & SILVA, C. J. V. Incorporação de resíduos da produção de fibras de sisal em argamassa: Efeitos nas propriedades físicas e mecânicas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13034.
24. ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. **Cement & Concrete Composites**, v. 68, p. 96–108, 2016.
25. SANTOS, D. P. *et al.* **INFLUENCIA DO USO DE RESÍDUO DE VIDRO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ADESIVAS**. Anais do Congresso Anual da ABM. **Anais...**São Paulo: Editora Blucher, 2017.

26. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-12653: Materiais Pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 6 p.
27. CARASEK, H. Patologia Das Argamassas de Revestimento. **Materiais de Construção Civil**, p. 1–11, 2006.
28. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023. 5 p.

## **MORTARS FOR CIVIL CONSTRUCTION WITH INDUSTRIAL AND AGROINDUSTRIAL WASTE**

### **ABSTRACT**

The construction sector, due to its influence on the economy and society, needs to adapt to more sustainable standards. In this study mortars were developed using two wastes: recycled glass powder (PV) as a supplementary cementitious material and treated babassu coconut fiber (FT) as mechanical reinforcement. The FT treated with NaOH was characterized by Scanning Electron Microscopy, revealing a stratified surface and free of impurities. X-ray fluorescence confirmed PV's pozzolanicity. Mortars with 0% (reference) and 10%|FT (10% PV replacing cement and 0.5% FT addition) were tested for consistency and compressive strength (28 days). The 10%|FT formulation showed advantageous consistency, maintaining the water/cement ratio of the composite with both raw materials, and its compressive strength exceeded the minimum required for class AAE8. Thus, the 10%|FT mortar proves to be a beneficial ecological alternative by recycling waste and reducing cement usage.

**Keywords:** recycled glass powder, babaçu coconut fiber, mortar, compressive strength.