

AValiação de Polímeros Convencionais para Reforços Poliméricos 3D, Inspirados na Natureza, em Compósitos de Matrizes Cimentícias

Lucas Dias Lombardeiro, Matheus Frederico Ferreira Henckmaier, Maria Beatriz Souza de Oliveira, José da Silva Andrade Neto

INTRODUÇÃO

O concreto armado é o método construtivo mais usado no mundo, com consumo de cerca de 30 bilhões de toneladas (MONTEIRO; MILLER; HORVATH, 2017). Essa popularidade decorre da boa relação custo-benefício, disponibilidade de materiais e desempenho estrutural, já que o concreto resiste à compressão e o aço à tração (REICHENBACH et al., 2021). No entanto, a durabilidade depende da proteção do aço contra corrosão, exigindo recobrimento extra de concreto sem função estrutural, o que aumenta o consumo do material.

Como alternativa, destaca-se o Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD), que permite estruturas mais leves e duráveis, mas apresenta fragilidade e baixa ductilidade. O uso de reforços, como malhas poliméricas, surge como solução para melhorar a deformabilidade. Neste contexto, esta pesquisa avalia malhas poliméricas impressas em 3D, com geometrias biomiméticas, que dispensam recobrimento contra corrosão e podem reduzir o volume de concreto, contribuindo também para menor emissão de CO₂ (BARCELO et al., 2013).

DESENVOLVIMENTO

As malhas utilizadas (Figura 1), baseadas em Santana et al. (2021), apresentam padrão hexagonal tridimensional com 2 mm de diâmetro, favorecendo infiltração da matriz cimentícia e ancoragem mecânica. Foram impressas em PLA por FDM em duas orientações (horizontal e vertical), em impressora Creality K1, utilizando 210 °C de extrusão e mesa a 60 °C. O modelo incorporou espaçadores para correta moldagem.

A matriz empregada foi um CUAD autoadensável (Salazar et al., 2020), composto por cimento Portland, sílica ativa, areia fina, água e superplastificante (AdvaFlow), no traço 1:0,11:1,11:0,29:0,022. Os corpos de prova foram moldados e submetidos a ensaios de flexão em três pontos.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta as curvas força-deformação obtidas nos ensaios de flexão em três pontos. Observa-se que a utilização da malha impressa na posição horizontal (Malha H) promoveu redução da resistência máxima em comparação ao corpo de prova de referência (REF). Esse comportamento pode estar relacionado à incorporação de ar e a possíveis falhas de moldagem decorrentes da presença da malha durante o adensamento. No entanto, destaca-se que a Malha H aumentou significativamente a deformação na ruptura, conferindo maior ductilidade ao compósito. Por outro lado, a malha impressa na posição vertical (Malha V) não apresentou o mesmo benefício, resultando em desempenho inferior, tanto em termos de resistência quanto de deformabilidade. Esse resultado indica que a orientação de impressão da malha exerce influência direta no comportamento do compósito. Quando impressa na vertical, a direção das camadas coincide com o plano de ruptura por tração na face inferior do corpo de prova, favorecendo a separação entre camadas e, conseqüentemente, a falha precoce. Já no caso da impressão horizontal, os esforços de tração não atuam separando as camadas impressas, permitindo maior dissipação de energia antes da ruptura.

Essas evidências sugerem que a estratégia de impressão deve ser cuidadosamente considerada no projeto de reforços poliméricos para compósitos cimentícios, uma vez que a orientação pode definir o equilíbrio entre resistência e ductilidade do material.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou que malhas poliméricas impressas em 3D podem alterar significativamente o comportamento mecânico de compósitos cimentícios de ultra-alto desempenho (CUAD). A malha impressa na orientação horizontal aumentou a deformação na ruptura, conferindo maior ductilidade ao compósito. Já a malha vertical apresentou o pior desempenho, com falha precoce devido à separação entre camadas impressas.

Conclui-se que a orientação de impressão é fator determinante no desempenho do compósito, devendo ser considerada no projeto de reforços poliméricos. Esses resultados indicam o potencial do uso de malhas poliméricas como alternativa aos reforços convencionais, embora sejam necessários estudos adicionais para otimizar geometrias, parâmetros de impressão e interação com a matriz.

Palavras-chave: impressão 3D; malhas poliméricas; concreto de ultra-alto desempenho (UHPC); reforço de compósitos cimentícios; sustentabilidade na construção civil

ILUSTRAÇÕES

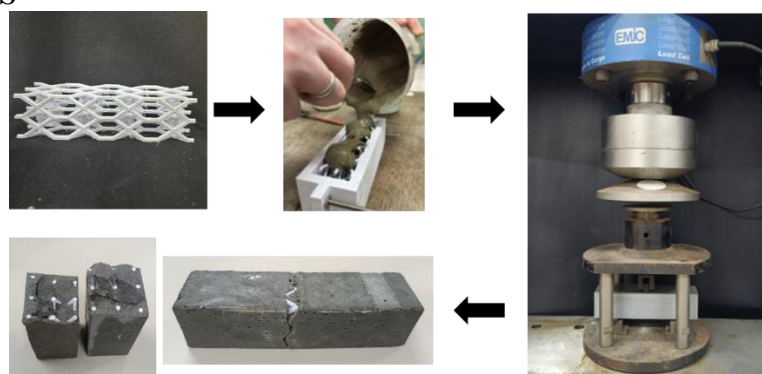


Figura 1 – Etapas do trabalho experimental.

Fonte: Autores (2025).

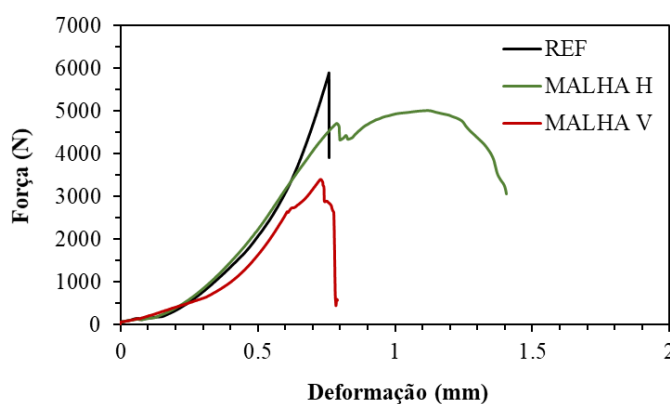


Figura 2 – Curvas força-deformação obtidas nos ensaios de flexão em três pontos.

Fonte: Autores (2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARCELO, Laurent *et al.* Cement and carbon emissions. **Materials and Structures**, v. 47, n. 6, p. 1055-1065, 30 jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0114-5>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- BIROSZ, Márton Tamás; LEDENYÁK, Dániel; ANDÓ, Mátyás. Effect of FDM infill patterns on mechanical properties. **Polymer Testing**, v. 113, p. 107654, set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107654>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- CHENG, Lin *et al.* Efficient design optimization of variable-density cellular structures for additive manufacturing: theory and experimental validation. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 4, p. 660-677, 20 jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/rpj-04-2016-0069>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- FERNANDEZ-VICENTE, Miguel *et al.* Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 3, n. 3, p. 183-192, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0036>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- LI, Dawei *et al.* Optimal design and modeling of gyroid-based functionally graded cellular structures for additive manufacturing. **Computer-Aided Design**, v. 104, p. 87-99, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.06.003>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- MONTEIRO, Paulo J. M.; MILLER, Sabbie A.; HORVATH, Arpad. Towards sustainable concrete. **Nature Materials**, v. 16, n. 7, p. 698-699, 27 jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nmat4930>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- REICHENBACH, Sara *et al.* A review on embedded fibre-reinforced polymer reinforcement in structural concrete in Europe. **Construction and Building Materials**, v. 307, p. 124946, nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124946>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- SALAZAR, Brian *et al.* Polymer lattice-reinforcement for enhancing ductility of concrete. **Materials & Design**, v. 196, p. 109184, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109184>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- SANTANA, Henrique A. *et al.* 3D printed mesh reinforced geopolymer: Notched prism bending. **Cement and Concrete Composites**, v. 116, p. 103892, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103892>. Acesso em: 13 ago. 2025.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Lucas Dias Lombardeiro

MODALIDADE DE BOLSA: PROIP/UDESC (IP)

VIGÊNCIA: 01/09/2024 a 31/08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): José da Silva Andrade Neto

CENTRO DE ENSINO: CERES

DEPARTAMENTO: Departamento de Arquitetura e Urbanismo

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias / Engenharia Civil

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Reforços Poliméricos Impressos em 3D na Manufatura Aditiva de Matrizes cimentícias: Estudo de Arquiteturas Complexas Inspiradas na Natureza

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: PVES117-2024