

AVALIAÇÃO DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO PARA REFORÇOS POLIMÉRICOS 3D, INSPIRADOS NA NATUREZA, EM COMPÓSITOS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

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

INTRODUÇÃO

A impressão 3D (3DP) consolida-se como tecnologia capaz de superar limitações dos métodos construtivos tradicionais, eliminando fôrmas, otimizando formas e reduzindo desperdícios (Buswell et al., 2020; Flatt & Wangler, 2022). Nesse contexto, a biomimética fornece padrões celulares, helicoidais e porosos inspirados na natureza, capazes de melhorar leveza, resistência e eficiência estrutural (du Plessis et al., 2019; 2021).

O objetivo deste trabalho foi identificar e modelar malhas biomiméticas por meio de modelagem paramétrica, de modo a fornecer base para a continuidade da pesquisa, na qual serão avaliados compósitos cimentícios reforçados com polímeros contendo fibras de carbono. A justificativa para o uso desses polímeros está em sua elevada resistência mecânica, estabilidade química e leveza, que os tornam candidatos ideais para substituir reforços convencionais sujeitos à corrosão, ampliando a durabilidade de estruturas cimentícias.

DESENVOLVIMENTO

As atividades incluíram o domínio dos softwares Rhinoceros e Grasshopper para modelagem paramétrica das malhas. Foram levantados padrões biomiméticos relevantes e analisadas suas propriedades estruturais. Destacam-se a estrutura Bouligand, que proporciona alta resistência e tenacidade pelo arranjo helicoidal, e a Voronoi, pela eficiência na distribuição de esforços e leveza (Liu et al., 2022; Chen et al., 2023).

A modelagem da malha Voronoi foi realizada no Grasshopper a partir de pontos aleatórios que geraram células poligonais heterogêneas. Foram ajustadas espessuras de parede e alturas de extrusão, criando maior complexidade geométrica. Para a impressão, utilizou-se PLA com infill Bouligand, visando melhorar a resistência da malha.

RESULTADOS

Foram impressas malhas biomiméticas e não biomiméticas em PLA, que serviram como padrões de comparação e auxiliaram na calibração do processo de impressão 3D. Essas malhas iniciais permitiram ajustar parâmetros de extrusão, preenchimento e altura de camada, assegurando melhor qualidade superficial e maior precisão geométrica nas impressões subsequentes (Figura 1). A modelagem da malha Voronoi demonstrou a flexibilidade da abordagem paramétrica: a distribuição aleatória de pontos gerou células de tamanhos distintos, criando heterogeneidade estrutural semelhante à observada em sistemas naturais. O controle paramétrico possibilitou variar espessuras e alturas de extrusão, resultando em geometrias complexas e adaptáveis às futuras aplicações em reforços cimentícios (Figura 2a–b).

Na etapa de impressão, verificou-se que a combinação de malhas Voronoi com padrão de preenchimento Bouligand proporcionou maior robustez estrutural, reduzindo falhas comuns em impressões de geometrias abertas. O infill helicoidal mostrou potencial para otimizar a distribuição de esforços na malha, sugerindo que a integração de diferentes padrões biomiméticos pode gerar resultados superiores em termos de resistência e tenacidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram uma integração bem-sucedida dos conceitos biomiméticos, flexibilidade de forma proporcionada pela modelagem paramétrica e redução de material. Através do software Grasshopper integrado ao software Rhinoceros, desenvolveu-se um fluxo de trabalho eficiente, que viabilizou a criação dinâmica e customizável das malhas. Constatou-se que padrões como Voronoi e Bouligand apresentam potencial significativo, tanto isoladamente quanto de forma combinada.

A continuidade da investigação, com o uso de polímeros reforçados com fibras de carbono, permitirá validar experimentalmente a hipótese de que tais malhas podem ampliar a ductilidade, a resistência e a durabilidade dos compósitos cimentícios de alto desempenho.

Palavras-chave: impressão 3D; biomimética; voronoi; reforço de compósitos cimentícios; UHPC.

ILUSTRAÇÕES



Figura 1 – Malhas impressas utilizadas como padrão de comparação para o reforço polimérico em matrizes cimentícias.

Fonte: Autores (2025).

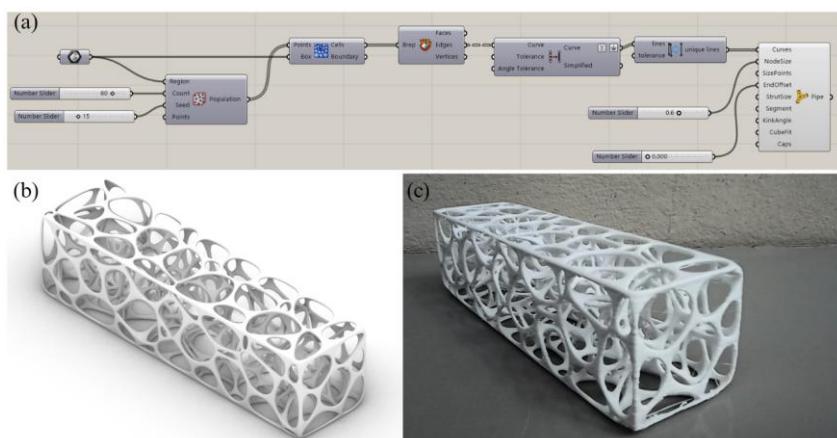


Figura 2 – Etapas de modelagem e impressão da malha biomimética: (a) geração das células Voronoi no Grasshopper; (b) representação visual da malha biomimética; (c) impressão do protótipo em PLA.

Fonte: Autores (2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSWELL, R. A.; DA SILVA, W. R. L.; BOS, F. P.; SCHIPPER, H. R.; LOWKE, D.; HACK, N.; KLOFT, H.; MECHTCHERINE, V.; WANGLER, T.; ROUSSEL, N. A process classification framework for defining and describing Digital Fabrication with Concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 134, maio 2020. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106068.

CHEN, D.; GAO, K.; YANG, J.; ZHANG, L. Functionally graded porous structures: Analyses, performances, and applications – A Review. *Thin-Walled Structures*, v. 191, p. 111046, ago. 2023. DOI: 10.1016/j.tws.2023.111046.

DU PLESSIS, A.; BABAFEMI, A. J.; PAUL, S. C.; PANDA, B.; TRAN, J. P.; BROECKHOVEN, C. Biomimicry for 3D concrete printing: a review and perspective. *Additive Manufacturing*, v. 38, nov. 2021. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101823.

DU PLESSIS, A.; BROECKHOVEN, C.; YADROITSAVA, I.; YADROITSEV, I.; HANDS, C. H.; KUNJU, R.; BHATE, D. Beautiful and functional: a review of biomimetic design in additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, v. 27, p. 408–427, Mar. 2019. DOI: 10.1016/j.addma.2019.03.033.

FLATT, R. J.; WANGLER, T. On sustainability and digital fabrication with concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 158, abr. 2022. DOI: 10.1016/j.cemconres.2022.106837.

LIU, J.; LI, S.; FOX, K.; TRAN, P. 3D concrete printing of bioinspired Bouligand structure: a study on impact resistance. *Additive Manufacturing*, v. 50, nov. 2021. DOI: 10.1016/j.addma.2022.102544.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Matheus Frederico Ferreira Henckmaier

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: Cadastro do projeto de pesquisa no SIGAA