



DURABILIDADE DE SISTEMAS GEOPOLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS POLIMÉRICAS NATURAIS E SINTÉTICAS

Tema: Inovação em argamassas e revestimentos.

Alamanda Araujo¹, Madeleing Taborda Barraza², Sheila Mara Santos Silva³, Lucas Onghero⁴,
Fernando Pelisser⁵.

¹Doutoranda, PPGEC – Universidade Federal Santa Catarina/UFSC, alamandaraujo@gmail.com

² Pós-Doutoranda, PPGEC – Universidade Federal Santa Catarina/UFSC, madelatb@gmail.com

³ Mestranda, LAMAV-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF,
sheilamarasantossilva@gmail.com

⁴ Pós-Doutorando, PPGEC – Universidade Federal Santa Catarina/UFSC, lucasjba@gmail.com

⁵ Prof. Dr., PPGEC – Universidade Federal Santa Catarina/UFSC, f.pelisser@ufsc.br

RESUMO

Argamassas foram produzidas contendo fibras poliméricas de comprimento e natureza distintas (vidro, poliéster, açaí e coroa do abacaxi) e, após 28 dias, foram submetidas a 7 ciclos de molhagem-secagem e a ataques salinos. Assim, foi avaliado o desempenho mecânico das matrizes com o objetivo de analisar a interface matriz-fibra do compósito. Os resultados demonstraram que, em condições de molhagem-secagem, em todas as composições, a presença das fibras evitou a penetração de água para o interior da amostra, a qual pudesse transportar íons importantes que continuassem reagindo no sistema, mantendo a resistência mecânica da matriz. No entanto, em condições de ataque salino, a fibra de poliéster foi a única que manteve o desempenho maior em relação à referência.

Palavras-chave: geopolímero, argamassa, fibra natural, fibra sintética

PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF GEOPOLYMERIC MORTARS REINFORCED WITH NATURAL AND SYNTHETIC POLYMERIC FIBERS.

ABSTRACT

Mortars were produced containing polymeric fibers of different length and nature (glass, polyester, açai and pineapple crown) and, after 28 days, were subjected to 7 cycles of wetting-drying and saline attacks. Thus, the mechanical performance of the matrices was evaluated in order to analyze the matrix-fiber interface of the composite. The results showed that, under wetting-drying conditions, in all compositions, the presence of fibers prevented the penetration of water into the sample, which could transport important ions that continued to react in the system, maintaining the mechanical strength of the matrix. However, under saline



attack conditions, the polyester fiber was the only one that maintained the highest performance compared to the reference.

Key-words: geopolymer, mortar, fiber, natural, synthetic



1. INTRODUÇÃO

A argamassa geopolimérica tem-se mostrado uma boa alternativa para aplicação em revestimento e/ou assentamento de elementos estruturais [1,2] e, como todo revestimento, requer elementos de reforços para melhorar a fragilidade particular de materiais cerâmicos. Assim, essa questão pode ser atenuada com o uso de elementos alternativos ao aço [3], tais como: fibra polimérica sintéticas e naturais, as quais, basicamente, contribuem para o beneficiamento de resíduos locais [4]–[6], além de evitar a formação de pontos de corrosão típica em sistemas metálicos [7]–[11]. Desta forma, avaliar o desempenho mecânico destes compósitos sob condições de molhagem-secagem e ataque salino permitem indicar sua conveniência de uso em condições adversas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

O metacaulim comercial utilizado possui uma composição química (*EDX-7000, Shimadzu*) registrada na Tabela 1 e as fibras empregadas foram caracterizadas com difração de raios-x (DRX) (*Rigaku MiniFlex II*) e espectroscopia de infravermelho (Jasco, 4200FT-IR, *Agilent technologies*) por transformada de Fourier (FTIR), ver Figuras 1a e 1b, respetivamente. O agregado miúdo utilizado é proveniente do rio Paraíba do Sul, passante da peneira n°. 10.

A solução ativadora foi preparada em duas etapas, primeiro, dissolveu-se o silicato de sódio em pó em água destilada por 2 horas a uma temperatura de 80°C. Posteriormente, após resfriamento, o hidróxido de sódio em micropérolas foi acrescentado e deixado para resfriamento. A concentração molar para todos os sistemas foi de 6,16 M de NaOH e as proporções dos materiais é especificado nos métodos.

Tabela 1 – Composição química do metacaulim utilizado

Oxido	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Outros
%	51,3	38,3	7,2	1,0	1,63	0,20	0,37

O comprimento médio das fibras incorporadas é apresentado na Tabela 2, acrescentadas em 1% em massa do precursor.

Tabela 2 – Comprimento médio das fibras empregadas

Tipo de Fibra	Poliéster	Vidro	Abacaxi	Açaí
Comprimento (mm)	20	12	55	22



Os respectivos espectros de infravermelho revelaram a presença de celulose e lignina mediante as bandas 1050, 1740-1735 e 1380 cm^{-1} , representando ligações duplas de C-O e C-H [10,11]. Nas fibras sintéticas a presença de ligações Si-O-Si (1100 cm^{-1}), assim como a banda de 1623 cm^{-1} que representa polifenol, bandas do C-O [12].

Figura 1 – Caracterização via espectroscopia de infravermelho (FTIR) das fibras

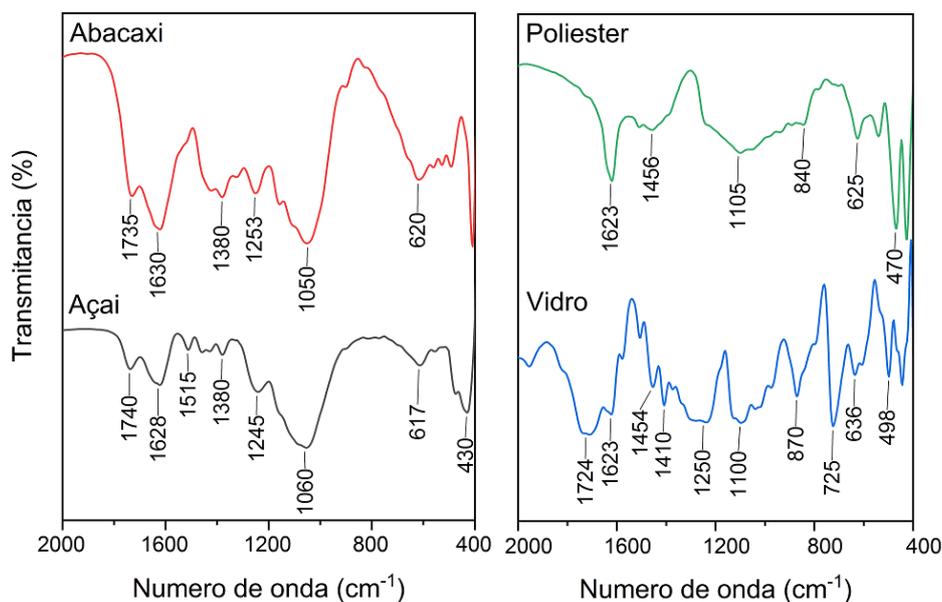
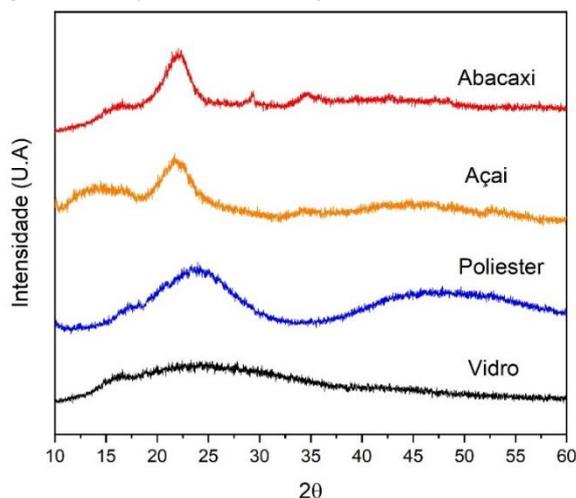


Figura 2 – Espectro de difração de raios-x das fibras





2.2 Métodos

Os materiais em pó, 152 g do precursor, e as fibras foram pesados e misturados, inicialmente, a mão, em seco, numa cuba de argamassadeira, adicionando nesta, previamente, 5g de água. Foi acrescentada 160 g da solução ativadora (1:0,58:0,11 – água:silicato:hidróxido), e realizou-se a mistura mecânica por 2 minutos. Depois, deu-se uma pausa de 30 segundos para a remoção do material do fundo e retornou à mistura por mais 2:30 min. Terminada a mistura, a argamassa foi disposta em 6 moldes prismáticos, com dimensões de 20 x 30 x 120 mm, selada com plástico por 14 dias, em temperatura ambiente ($23 \pm 1^\circ\text{C}$). A Nomenclatura utilizada para as amostras e a sua proporção, está registrada na Tabela 4. O procedimento de moldagem da argamassa foi uma adaptação da norma NBR 13276:2005.

Tabela 4 – Nomenclatura das amostras ensaiadas

Nome	Especificação
REF	Amostra de referência
R + F. POLI	REF + Fibra de poliéster
R + F. VIDRO	REF + Fibra de vidro
R + F. AÇAI	REF + Fibra do caroço do açaí
R + F. ABAC	REF + Fibra da coroa do abacaxi

Após 28 dias, as amostras prismáticas foram primeiramente submetidas ao ensaio de flexão, conforme a norma NBR 13279:2005. Este experimento não faz parte do escopo deste artigo, portanto não serão abordados seus resultados. Após a ruptura, as partes resultantes do ensaio de flexão foram submetidas à compressão, utilizando uma prensa *Instron*, com uma taxa de carregamento de 3.000 N/min. Outras partes foram submetidos a ciclos de molhagem e secagem em água destilada e água salina (24 horas em imersão, 24 horas secando na estufa a 60°C) até finalizar 7 ciclos, totalizando 15 dias de ensaio. O ambiente agressivo foi simulado a partir de uma composição de água salina através dos componentes listados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição da água salina simulada

Composto químico	Concentração (g/L)
Cloreto de sódio – NaCl	30,0
Sulfato de Magnésio – MgSO_4	5,0
Cloreto de cálcio - CaCl	3,0
Carbonato potássico - HCO_3	0,2

3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

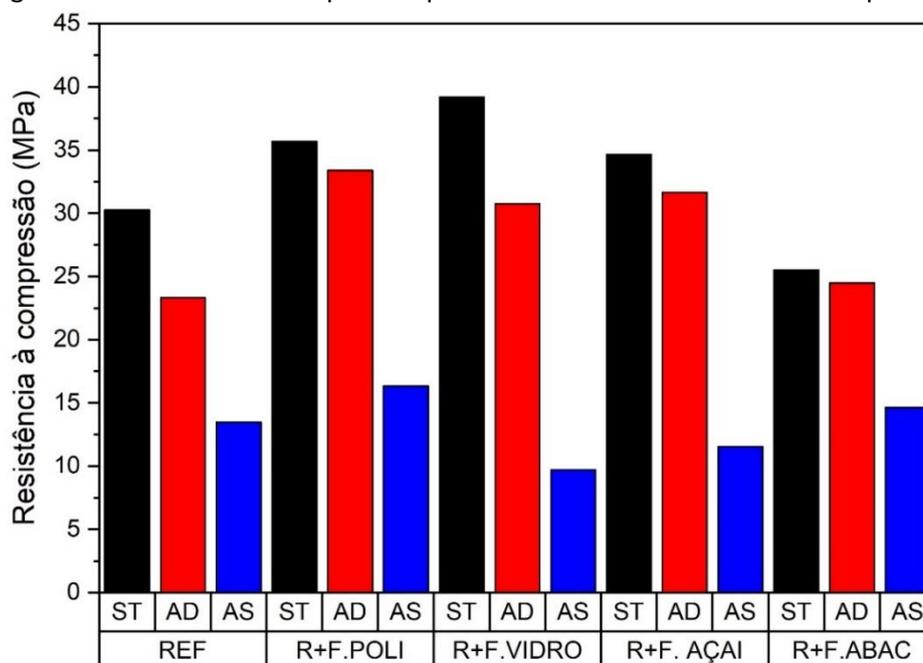
Os resultados dos ensaios de resistência à compressão estão apresentados na Figura 3. ST está relacionado às amostras sem tratamento, AD às amostras em contato com água destilada e, por último, AS, as submetidas a ataque salino.

De forma geral, a adição fixa de 1% das fibras, em massa, revelou resultados positivos em relação à matriz de referência ST, o que está concordante com a literatura [13-14], e conveniente para dois tipos de fibras com naturezas distintas, dado que maiores teores podem comprometer a trabalhabilidade [15].

Assim, os incrementos registrados 17%, para R + F.POLI e R + F. AÇAÍ, e 33% par R + F.VIDRO foram similares aos obtidos por [16] e, ainda, [17-18] e indicaram que as fibras mais curtas favoreceram o ganho de resistência e maiores teores de adição resultaram na redução do desempenho mecânico.

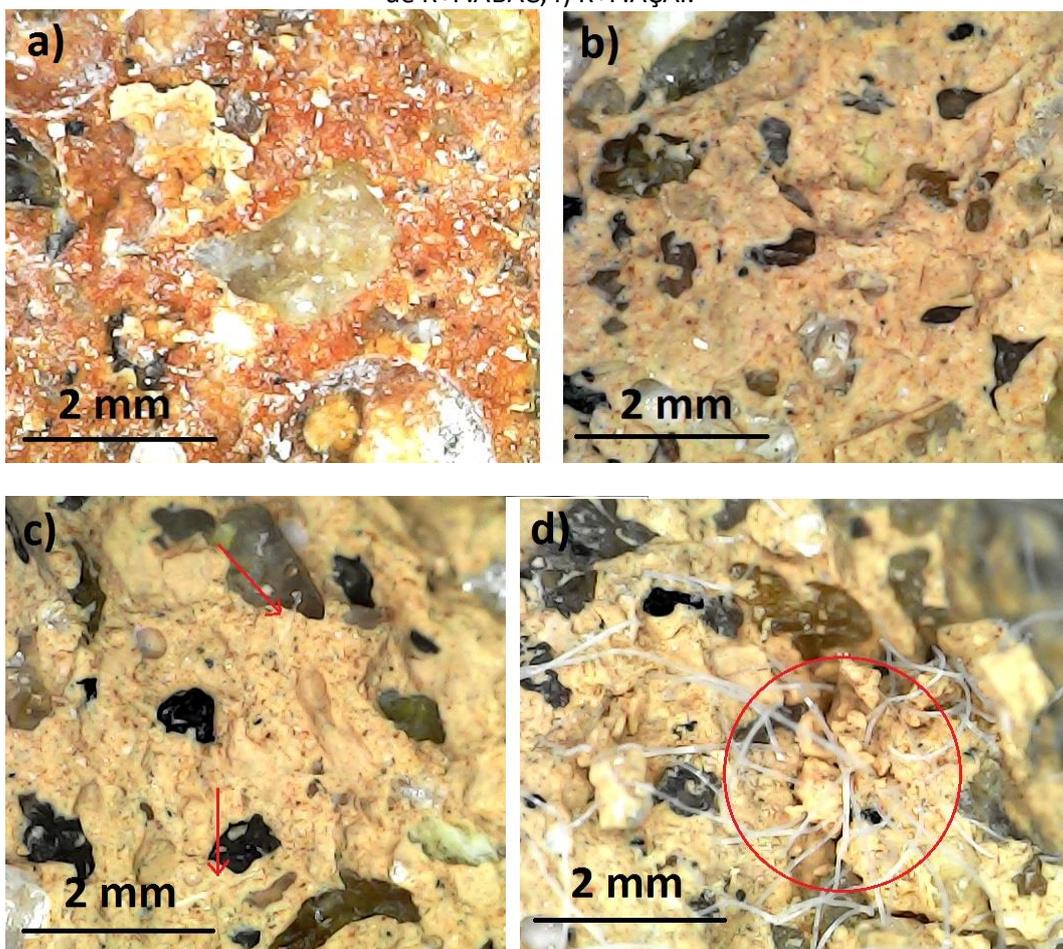
Em relação ao ensaio de ataque salino (AS), avalia-se que as fibras de poliéster e abacaxi obtiveram um incremento de 20% e 8%, respectivamente, enquanto as de vidro e açaí tiveram um desempenho aquém ao da referência. A argamassa contendo fibra de poliéster foi a que obteve melhores resultados relativos ao ataque salino e ao contato com a água destilada.

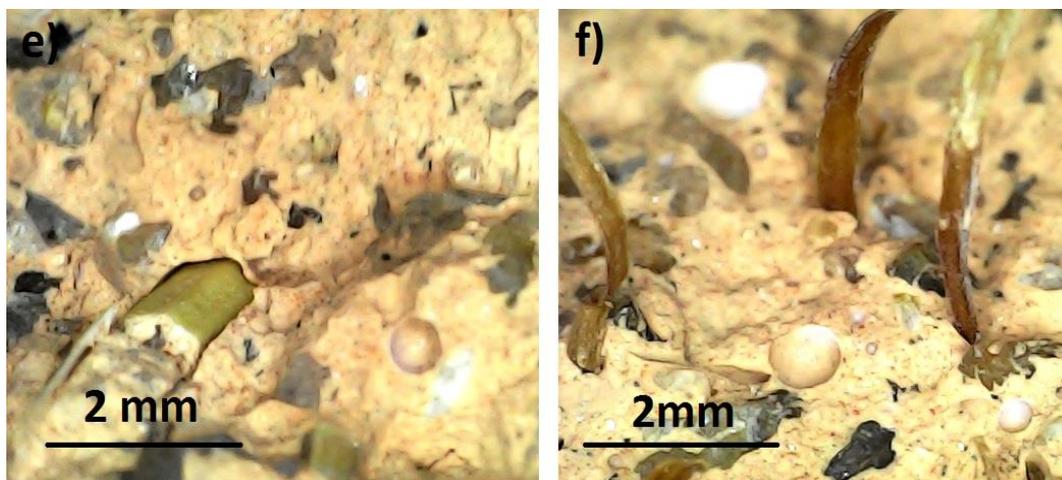
Figura 3 – Resistência à compressão prismática das diferentes amostras após ciclos



As representações microscópicas dos compósitos após a ruptura e ataques salinos estão registradas na Figura 4. Para tanto, foi utilizado um microscópio digital da marca Funien que possui sensor de imagem tipo CMOS e uma faixa de foco entre 15 - 40 mm.

Figura 4 – Imagens com microscópio digital das diferentes amostras após 15 ciclos de ataque salino: a) superfície da REF, b) interior da REF, c) amostra de R+F.VIDRO, d) amostra de R+F.POLI, e) amostra de R+F.ABAC, f) R+F.AÇAÍ.





A comparação da superfície da amostra de referência realça a presença de cristais salinos na superfície e não no interior dela, tal como se vê na Figura 4. Entretanto, é significativa a modificação na interface da fibra e matriz para o caso da amostra R + F.ABAC, onde existe uma separação física entre a matriz e o reforço, enquanto, na R + F.AÇAI as fibras registram tonalidades diferentes à natural e um aspecto frágil. No que se refere às fibras sintéticas, estas parecem não registrar mudanças no seu aspecto, porém, na amostra R + F.POLI é possível verificar o cruzamento que esta fibra teve sobre a matriz, atuando como ponte física durante a ruptura.

4. CONCLUSÕES

Após diversas condições de imersão dos compósitos é possível indicar que:

- As fibras curtas são capazes de promover incremento simultâneo nas resistências à compressão, sendo que a argamassa com fibra natural do açaí teve desempenho similar em resistência à compressão à argamassa com fibra de poliéster.
- Todos os compósitos foram afetados pelo ataque salino, sendo a interface da matriz e as fibras as mais afetadas, indicando que estas foram comprometidas pela molhagem.
- O ataque salino prejudicou bastante o desempenho mecânico da argamassa com fibra de vidro, a qual possui maior resistência à compressão dentre todas as composições avaliadas.



5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq, projeto PDRJ n°. 151351/2022-8, pelo apoio financeiro na compra de insumos para realização desta pesquisa, assim como aos laboratórios LAMAV/UENF e NANOTEC/UFSC onde foi possível caracterizar os compósitos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Pelisser; E.L. Guerrino; M. Menger; M.D. Michel; J.A. Labrincha, "Micromechanical characterization of metakaolin-based geopolymers" *Constr. Build. Mater.*, vol. 49, no. December, p. 547-553, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.081.
- [2] E. L. C. Vasconcelos; J. B. Aguiar, "Utilização de argamassas geopoliméricas em alternativa às resinas epoxídicas na reabilitação de betão com CFRP", Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, n° 38, 2010.
- [3] M. C. de A. Braz and F. B. C. do Nascimento, "CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO," *Cad. Grad.*, vol. 3, no. 1, pp. 43–56, 2015.
- [4] G. Masi, W. D. A. Rickard, M. C. Bignozzi, and A. Van Riessen, "The effect of organic and inorganic fibres on the mechanical and thermal properties of aluminate activated geopolymers," *Compos. Part B Eng.*, vol. 76, pp. 218–228, 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2015.02.023.
- [5] M. Dong, W. Feng, M. Elchalakani, G. K. Li, A. Karrech, and M. N. Sheikh, "Material and glass-fibre-reinforced polymer bond properties of geopolymer concrete," *Mag. Concr. Res.*, vol. 72, no. 10, pp. 509–525, 2020, doi: 10.1680/jmacr.18.00273.
- [6] A. R. G. de Azevedo *et al.*, "Natural fibers as an alternative to synthetic fibers in reinforcement of geopolymer matrices: A comparative review," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 15, 2021, doi: 10.3390/polym13152493.
- [7] A. Gholampour, A. Danish, T. Ozbakkaloglu, J. H. Yeon, and O. Gencil, "Mechanical and durability properties of natural fiber-reinforced geopolymers containing lead smelter slag and waste glass sand," *Constr. Build. Mater.*, vol. 352, no. September, p. 129043, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129043.
- [8] P. Zhang, K. Wang, J. Wang, J. Guo, S. Hu, and Y. Ling, "Mechanical properties and prediction of fracture parameters of geopolymer/alkali-activated mortar modified with PVA fiber and nano-SiO₂," *Ceram. Int.*, vol. 46, no. 12, pp. 20027–20037, 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.05.074.
- [9] E. A. S. Correia, "Compósitos de Matriz Geopolimérica Reforçados com Fibras Vegetais de Abacaxi e de Sisal," Universidade Federal de Paraíba, 2011.



-
- [10] A. R. G. de Azevedo, M. T. Marvila, B. A. Tayeh, D. Cecchin, A. C. Pereira, and S. N. Monteiro, "Technological performance of açaí natural fibre reinforced cement-based mortars," *J. Build. Eng.*, vol. 33, no. March 2020, p. 101675, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101675.
- [11] R. Kumar, M. I. U. Haq, A. Raina and A. Anand, "Industrial applications of natural fibre-reinforced polymer composites – challenges and opportunities", *Int. J. Sust. Eng.*, vol. 12:3, 212-220, doi: 10.1080/19397038.2018.1538267
- [12] BONON , Anderson J. et al. Physicochemical characterization of three fiber-reinforced epoxide-based composites for dental applications. *Materials Science and Engineering: C*, 05 Julho 2016.
- [13] E. Mohseni, "Assessment of Na₂SiO₃ to NaOH ratio impact on the performance of polypropylene fiber-reinforced geopolymer composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 186, pp. 904–911, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.032.
- [14] G. Lazorenko, A. Kasprzhitskii, A. Kruglikov, V. Mischinenko, and V. Yavna, "Sustainable geopolymer composites reinforced with flax tows," *Ceram. Int.*, vol. 46, no. 8, pp. 12870–12875, 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.01.184.
- [15] G. Laxmi and S. G. Patil, "Effect of fiber types, shape, aspect ratio and volume fraction on properties of geopolymer concrete – A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 65, pp. 1086–1094, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.157.
- [16] E. Haily, N. Zari, R. Bouhfid, and A. Qaiss, "Natural fibers as an alternative to synthetic fibers in the reinforcement of phosphate sludge-based geopolymer mortar," *J. Build. Eng.*, vol. 67, no. December 2022, p. 105947, 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2023.105947.
- [17] T. Lin, D. Jia, P. He, M. Wang, and D. Liang, "Effects of fiber length on mechanical properties and fracture behavior of short carbon fiber reinforced geopolymer matrix composites," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 497, no. 1–2, pp. 181–185, 2008, doi: 10.1016/j.msea.2008.06.040.
- [18] J. Yuan *et al.*, "SiC fiber reinforced geopolymer composites, part 1: Short SiC fiber," *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 4, pp. 5345–5352, 2016, doi: 10.1016/j.ceramint.2015.12.067.