

## **USO DE LAMA DE CAL E CARBONATAÇÃO ACELERADA PARA AUMENTAR A DURABILIDADE DE FIBROCIMENTOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE**

**RUDICLER PEREIRA RAMOS<sup>1</sup>; CRISTIAN DA CONCEIÇÃO GOMES<sup>2</sup>; RAFAEL DE AVILA DELUCIS<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – rudi.pereira@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – cristian.conceicao.gomes@ufpel.edu.br*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os fibrocimentos têm se destacado mundialmente como materiais amplamente utilizados na fabricação de elementos construtivos, como placas planas, onduladas e tubos, usados em paredes e outras superfícies de construções residenciais, agrícolas e industriais, especialmente em regiões em desenvolvimento, em que grande parte da população possui baixo poder aquisitivo (CORREIA *et al.*, 2014). Quando materiais residuais são incorporados, os fibrocimentos ganham mais apelo econômico e ecológico. A lama de cal, resíduo gerado em grande quantidade por fábricas de papel e celulose, tem uma composição rica em óxido de cálcio, o que lhe confere elevado potencial para que sejam incorporada em compósitos cimentícios em geral.

Dentre os tipos de fibras utilizadas como reforço, as polpas celulósicas derivadas da madeira têm ganhado destaque, entretanto, elas enfrentam desafios quando expostas ao ambiente altamente alcalino das matrizes cimentícias. A deterioração de fibras de celulose causada pelo cimento em hidratação é chamada de hidrólise alcalina e costuma causar perdas importantes em termos de durabilidade dos fibrocimentos (DA SILVEIRA, 2023). Diversas alternativas têm sido testadas para aumentar a durabilidade de fibrocimentos reforçados por fibras vegetais, especialmente adição de pozolanas e tratamento químico das fibras (ARAMBURU *et al.*, 2023). A carbonatação acelerada se configura como uma metodologia diferente dessas mais convencionais. Tal procedimento consiste em expor o compósito cimentício a uma atmosfera rica em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o qual reage com o hidróxido de cálcio ( $\text{CaOH}$ ) presente no compósito, formando carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Com base nisso, este estudo busca investigar a influência da carbonatação na durabilidade de fibrocimentos reforçados com fibra de polpa kraft de eucalipto não branqueada.

### **2. METODOLOGIA**

O cimento utilizado neste estudo foi o CPV-ARI, da marca Votoran, escolhido por sua alta pureza e desempenho. A fibra de celulose não branqueada e a lama de cal, utilizadas neste estudo, são provenientes de um processo de polpação do tipo Kraft e foram generosamente doadas pela Companhia Celulose Riograndense (CMPC) (Guaíba, Brasil). De acordo com o fornecedor, a polpa de eucalipto não branqueada tem um teor residual de lignina de 1,5–3% em peso. A relação água/cimento (a/c) de 0,40 foi definida com base em um traço de referência (ARAMBURU *et al.*, 2023). A lama de cal foi seca e moída previamente a sua incorporação nos fibrocimentos a quantidade de 10 e 20% em relação à massa de

cimento. O procedimento realizado na lama de cal está descrito em (DE OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Para a preparação dos compósitos, o material foi adicionado a uma argamassadeira de eixo vertical, sendo misturado a 140 rpm durante 3 minutos e, em seguida, a 220 rpm por mais 1 minuto. Os corpos-de-prova para os ensaios mecânicos foram preparados conforme a norma ASTM C305 (2014), utilizando moldes de  $40 \times 40 \times 160$  mm<sup>3</sup>. Esses moldes foram completamente preenchidos com a massa fresca e compactados em uma mesa vibratória, seguindo os procedimentos normativos. Após 24 horas, os corpos-de-prova foram desmoldados e submetidos a uma cura em temperatura ambiente por 28 dias, sendo então transferidos para o processo de cura sob pressão em autoclave por 8 horas, conforme descrito por (INSAURRIAGA *et al.*, 2024). Após a moldagem, as amostras foram submetidas à carbonatação acelerada por 8 horas. Esse processo ocorreu em um ambiente saturado com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mantido a uma temperatura de 20 °C e umidade relativa do ar de 75%. Esta metodologia foi adaptada de (TONOLI *et al.*, 2010).

Para avaliar a durabilidade, os compósitos foram sujeitos a 40 ciclos de molhagem e secagem, onde cada ciclo contou com 1 dia de imersão em água a temperatura ambiente e 1 dia de secagem em estufa a 60 °C. O desempenho mecânico dos fibrocimentos foi investigado por meio de ensaios de flexão e compressão, realizados em conformidade com a norma ASTM C348-21 (2021). Os testes foram executados em uma máquina de ensaio universal, modelo EMIC DL 30000.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 1 apresenta os resultados de resistência à compressão para os compósitos de cimento reforçados com fibra e com diferentes teores de lama de cal (10% e 20%) em comparação ao compósito controle. É possível observar que o compósito controle, representado pela barra azul, apresentou uma resistência à compressão de aproximadamente 28 MPa. Por outro lado, o compósito com 10% de lama de cal, indicado pela barra laranja, apresentou uma leve redução para 27 MPa, enquanto o compósito com 20% de lama de cal, indicado pela barra vermelha, teve uma resistência ainda menor, de 23 MPa. Comparando os compósitos, nota-se uma queda de aproximadamente 18% na resistência à compressão para a formulação com 20% de lama de cal em relação ao controle, indicando um efeito negativo desse teor mais alto de substituição de cimento. Essa queda pode ser explicada pelo fato de que a adição de maiores quantidades de lama de cal, que é um material de natureza não cimentícia, promove diluição da matriz e redução da quantidade de ligante ativo disponível para a formação de produtos hidratados (WEI; MEYER, 2016). A literatura aponta que teores de substituição superiores tendem a comprometer a integridade estrutural do compósito, como demonstrado em estudos anteriores que verificaram comportamentos semelhantes com outros resíduos minerais, como resíduos de vidro (RODIER; CORREIA; JUNIOR, 2020) e cinzas de casca de arroz (WEI; MEYER, 2016). A ligeira manutenção da resistência observada para o teor de 10% pode estar relacionada à formação de compostos secundários, como a sílica contida na lama de cal, que em pequenas quantidades pode reagir com a portlandita e contribuir para o desenvolvimento da resistência (DE OLIVEIRA *et al.*, 2023).

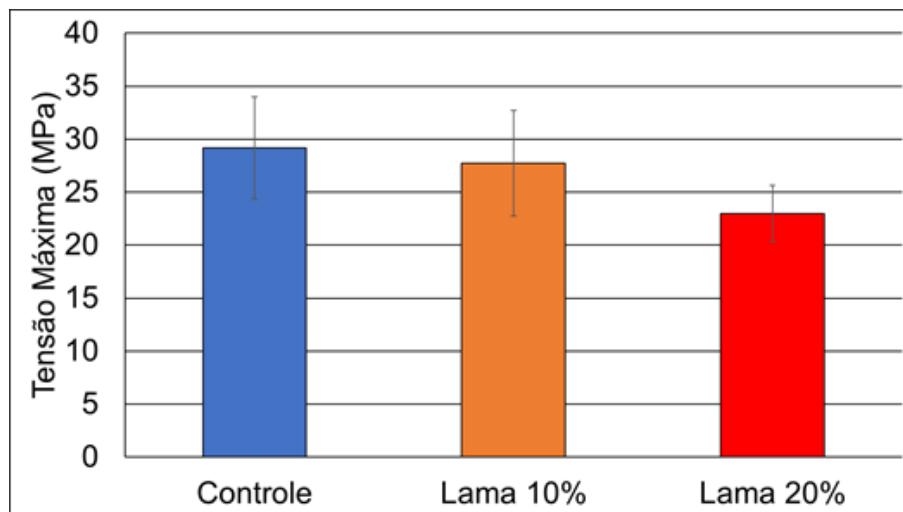


Figura 1 – Resistência à compressão dos compósitos.

A Figura 2 mostra os valores de resistência à flexão dos compósitos reforçados com fibra e lama de cal, comparando-os ao compósito controle. A barra azul, correspondente ao compósito controle, apresentou uma resistência à flexão de 2,7 MPa. Com a inclusão de 10% de lama de cal, representado pela barra laranja, houve um aumento para 3,2 MPa. Da mesma forma, o compósito com 20% de lama de cal também alcançou uma resistência à flexão de 3,2 MPa, conforme indicado pela barra vermelha. Esse aumento de aproximadamente 18,5% em relação ao controle indica que a lama de cal, mesmo em teores maiores, contribuiu para a resistência à flexão. Essa melhoria pode ser atribuída ao efeito de reforço proporcionado pelas partículas de lama de cal, que, quando adequadamente distribuídas na matriz, atuam como pontos de ancoragem, limitando a propagação de trincas sob carga de flexão. Estudos de (TEIXEIRA *et al.*, 2019) também relataram que a adição de materiais fibrosos pode ajudar a redistribuir tensões e retardar o surgimento de falhas, melhorando a resistência à flexão dos compósitos. Esse comportamento está de acordo com a teoria de reforço disperso, que sugere que a incorporação de partículas pode melhorar a tenacidade e a capacidade de absorção de energia do compósito (DA SILVEIRA, 2023). Além disso, a manutenção dos valores de resistência à flexão para o teor de 20% sugere que, sob esforços de flexão, a lama de cal atua mais como um reforço inerte, sem causar os efeitos deletérios observados na compressão.

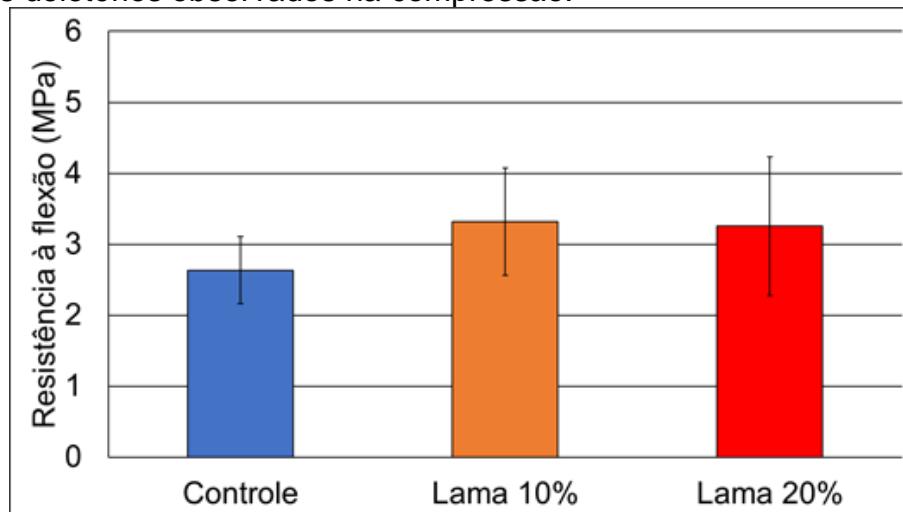


Figura 2 – Resistência à flexão dos compósitos.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que a incorporação de lama de cal em compósitos cimentícios reforçados com fibra apresentou impactos distintos nas propriedades mecânicas dos materiais. Na resistência à compressão, observou-se reduções de até 18% devido à adição de lama de cal, sugerindo ainda que teores mais elevados de substituição comprometem a integridade da matriz cimentícia. Esse comportamento foi atribuído à diluição do cimento e à menor disponibilidade de ligantes hidratados. Por outro lado, a resistência à flexão, principal propriedade de fibrocimentos, foi positivamente influenciada pela adição de lama de cal, com um aumento de aproximadamente 18,5%, o que pode ser explicado pelo papel das partículas de lama como reforços dispersos, que ajudam a retardar a propagação de trincas sob carga de flexão. Esses resultados demonstram o potencial da lama de cal como aditivo em compósitos cimentícios. Futuros estudos se concentrarão na avaliação do impacto da carbonatação acelerada de forma isolada sobre as propriedades mecânicas e de durabilidade dos compósitos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBURU, A. B. *et al.* Cement matrix reinforced with microfibrillated cellulose treated with furfuryl alcohol. **Cellulose**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10570-023-05511-2>.
- CORREIA, V. D. C. *et al.* Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber-cement materials. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 72, p. 65–71, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.005>.
- DA SILVEIRA, T. A. **Fibrocimentos híbridos reforçados com sisal quimicamente tratado e nanoargila**. 2023. 95 f. - Universidade Federal de Pelotas, [s. l.], 2023.
- DE OLIVEIRA, A. I. *et al.* Use of Dregs as a Replacement for Hydrated Lime in Cement Coating Mortar. **Journal of Composites Science**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 181, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/5/181>.
- INSAURRIAGA, G. L. *et al.* Effect of Hybridization of Carbon Fibers on Mechanical Properties of Cellulose Fiber–Cement Composites: A Response Surface Methodology Study. **C**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 41, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5629/10/2/41>.
- RODIER, L.; CORREIA, C.; JUNIOR, H. S. Elaboration of eco-efficient vegetable fibers reinforced cement-based composites using glass powder residue. **Cement and Concrete Composites**, [s. l.], v. 110, n. October 2019, p. 103599, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103599>.
- TEIXEIRA, R. S. *et al.* Extrudability of cement-based composites reinforced with curauá ( Ananas erectifolius ) or polypropylene fibers. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 205, p. 97–110, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.010>.
- TONOLI, G. H. D. *et al.* Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 193–201, 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061809003006>.
- WEI, J.; MEYER, C. Utilization of rice husk ash in green natural fiber-reinforced cement composites: Mitigating degradation of sisal fiber. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 81, p. 94–111, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.12.001>.