

CARBONATAÇÃO ACELERADA EM TIJOLOS ADOBE BASEADOS EM LAMA DE CAL

CRISTIAN DA CONCEIÇÃO GOMES¹; RAFAEL DE AVILA DELUCIS²

¹*Universidade Federal de Pelotas – cristianconceicao8@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual da indústria da construção, uma área diretamente ligada ao crescimento populacional e ao desenvolvimento urbano, há uma demanda crescente por práticas construtivas mais sustentáveis. A indústria da construção é uma das maiores responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂), com destaque para o elevado impacto ambiental das indústrias de concreto e tijolos de argila queimados, devido ao uso de clínquer e processos de queima. Nesse contexto, o adobe surge como uma alternativa promissora, capaz de reduzir substancialmente a pegada ecológica dos materiais de construção convencionais.

Os tijolos de adobe, uma tradição milenar, estão voltando à cena em resposta ao apelo por sustentabilidade. Compostos de uma mistura de argila, água, areia e fibras vegetais, os tijolos de adobe são moldados por processos como vibração ou compactação a frio, sem necessidade de tratamento térmico. Contudo, tijolos adobe convencionais costumam enfrentar enormes perdas de propriedades quando em contato com a água, o que é comum se utilizados em elementos de vedação externa. Outro interesse grande observado em estudos recentes publicados em revistas científicas de elevado fator de impacto é o uso de recursos renováveis e/ou reciclados em substituição da argila ou da areia em tijolos adobe, mantendo boas propriedades mecânicas e durabilidade e, assim, fazendo desses tijolos uma solução ainda mais viável e ecológica (Calabria et al., 2009; Li & Wu, 2022; Tonoli et al., 2010). Nesse sentido, a lama de cal é um resíduo promissor uma vez que é gerado em larga escala por fábricas de papel e celulose, e sua composição é majoritariamente de óxido de cálcio (CaO), que pode ser hidratado e se tornar hidróxido de cálcio (CaOH) e então ser convertido em carbonato de cálcio (CaCO₃), também chamado de calcário, em uma reação química chamada de carbonatação. Este estudo visa aprimorar propriedades de tijolos de adobe reforçados com fibras de piaçava, substituindo parte da argila por lodo de cal, e submetendo-os à carbonatação acelerada.

2. METODOLOGIA

Fibras de piaçava (*Attalea funifera*) foram enviadas por um fornecedor de Ilhéus, Brasil. Foram armazenadas em uma câmara controlada até estabilizarem a massa. Elas foram cortadas com 3 cm de comprimento, seguindo estudos anteriores. A argila utilizada foi obtida em Pelotas, Brasil, processada e peneirada até atingir uma finura de 50 µm (Calatan et al., 2016). A areia de quartzo, também de Pelotas, passou por um processo de secagem e peneiramento, seguindo recomendações da literatura (Calatan et al., 2016; Eslami et al., 2022).

Lodo de cal, proveniente da CMPC Celulose Rio-Grandense, foi processado de maneira semelhante à argila, enquanto uma cal hidratada foi adquirida comercialmente e utilizada em comparação com o lodo de cal. A fabricação dos tijolos de adobe seguiu uma proporção de 4:6 entre areia e argila, com substituição de 20% da argila por lodo de cal ou cal hidratada em algumas amostras. As fibras de piaçava, representando 3% do peso, foram incorporadas após serem embebidas em água, e a água absorvida

pelas fibras foi subtraída do total da mistura. Os tijolos foram moldados em moldes de madeira e compactados usando uma mesa vibratória, e alguns exemplares foram submetidos à carbonatação acelerada por 8 e 24 horas. Os tijolos de adobe apresentaram densidade aparente entre 1.500 e 2.100 kg/m³, sem impacto significativo da substituição de materiais ou da carbonatação acelerada. A caracterização dos tijolos incluiu testes de nível de carbonatação mediante pintura com uma solução padrão de fenolftaleína, resistência à compressão, além de testes de resistência à erosão por água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coloração rosada observada na seção transversal dos tijolos de adobe com cal ou lodo de cal carbonatados, mostrada na Figura 1, indica a ocorrência de processos de carbonatação, que podem melhorar suas propriedades. Os tijolos incorporados com lama de cal (Figuras 1A e 1B) claramente mostram uma cobertura maior da seção transversal na cor rosa. Por outro lado, os tijolos carbonatados conforme os diferentes tempos testados (8h e 24h) não parecem se distinguir em termos da cor rosa nas imagens. Conforme Schroeder et al. (10.1007/s10163-015-0445-0), o cálcio constitui 77% das cinzas da lama de cal. Esse cálcio se origina dos aditivos empregados na produção de papel, compostos principalmente por carbonato de cálcio e caulinita. Essa elevada concentração de cálcio provavelmente favoreceu a carbonatação da lama de cal em detrimento da cal hidratada.

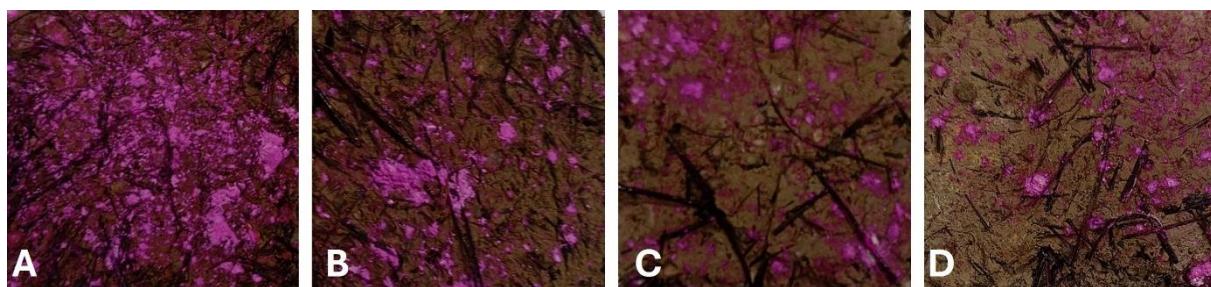


Figura 1 - Fotografias da seção transversal dos tijolos de adobe reagidos com fenolftaleína. Onde: A, B, C e D correspondem a Lámina de cal + 24h CO₂, Lámina de cal + 8h CO₂, Cal + 24h CO₂ e Cal + 8h CO₂, respectivamente. Fonte: Autor.

Em todos os casos representados na Figura 2, as curvas dos testes de compressão exibiram um comportamento esperado, que incluiu uma região elástica inicial, um ponto de tensão máxima, uma região de escoamento, e, finalmente, uma ruptura. Além disso, em comparação com o tijolo de controle, a lama de cal levou a uma leve redução na resistência à compressão, enquanto a cal hidratada manteve os valores. A diminuição da resistência à compressão devido à incorporação de lama de cal pode ser atribuída à presença de impurezas, como sílica, alumina e óxidos de ferro (Fe₂O₃ e FeO).

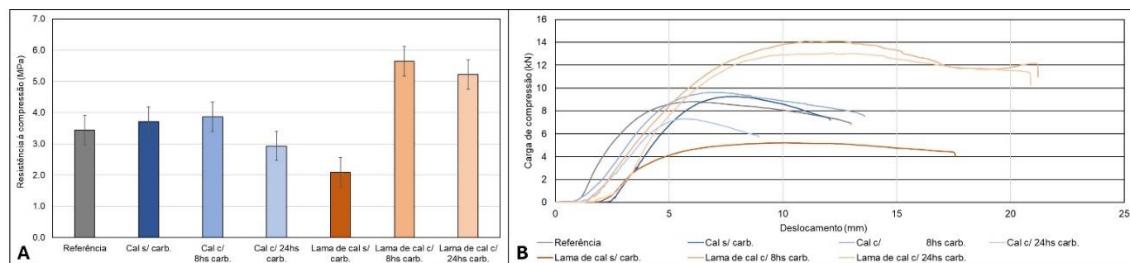


Figura 2 - Resistência à compressão (A) e curvas compressivas representativas (B) dos tijolos de adobe. Fonte: Autor.

Por outro lado, os tijolos incorporados com lama de cal mostraram ganhos de até 180% na resistência à compressão devido à carbonatação, de modo que os tempos de carbonatação estudados (8 e 24 horas) não tiveram efeito significativo nessa propriedade. Quando comparados aos tijolos de controle, os tijolos carbonatados exibiram uma superioridade na resistência à compressão de aproximadamente 60-75%. Isso indica que a carbonatação foi um processo relativamente rápido e eficiente para melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos, de forma que tempo adicional de carbonatação além de 8 horas não foi necessário para alcançar os ganhos máximos na resistência à compressão. Esses resultados positivos não foram observados nas amostras incorporadas com cal hidratada e carbonatadas, que apresentaram níveis de resistência semelhantes aos tijolos de controle. Conforme a literatura (10.1016/j.conbuildmat.2007.09.002), a lama de cal tem um maior teor de silica em comparação com a cal hidratada, então, durante a carbonatação, o CO_2 pode reagir com a sílica para formar silicatos de cálcio (CaSiO_3), o que explica a superioridade da lama de cal nesse caso.

A Figura 3 apresenta os resultados da profundidade de erosão e perda de massa dos tijolos erodidos. Vale destacar que, de acordo com a norma UNE 41410 (2008), profundidades de erosão superiores a 10 mm indicam que as amostras de adobe são suscetíveis a condições climáticas severas, classificação que abrange todos os tijolos de adobe examinados neste estudo. De maneira geral, os tijolos com cal hidratada mostraram menos danos. Similarmente à resistência mecânica, não houve efeito significativo do processo de carbonatação acelerada nos tijolos contendo cal hidratada.

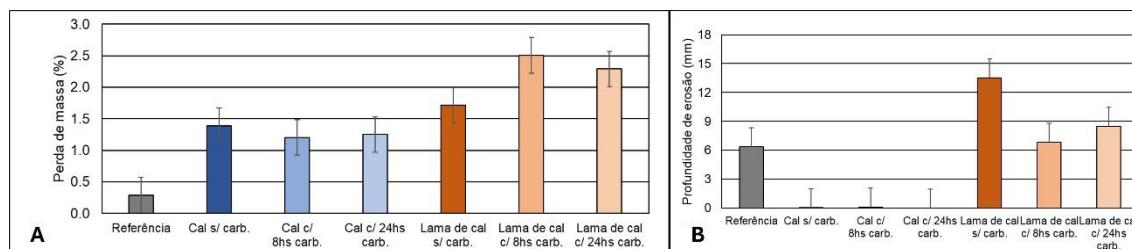


Figura 3 - Perda de massa (A) e profundidade de erosão (B) das superfícies erodidas dos tijolos estudados. Fonte: Autor.

Por outro lado, os tijolos com lama de cal apresentaram níveis mais elevados de erosão. No entanto, o processo de carbonatação resultou em tijolos mais resistentes à erosão no caso dos tijolos contendo lama de cal. Considerando os níveis mais elevados de perda de massa observados em tijolos contendo lama de cal, os níveis de erosão obtidos podem ser atribuídos a compostos lixiviados pela ação da água, como carbonato de cálcio (CaCO_3) e sílica (SiO_2) (10.1016/j.conbuildmat.2021.123255). Além disso, os ganhos em resistência à erosão visualizados para tijolos contendo lama de cal que foram carbonatados podem ser atribuídos à formação de fases cristalinas mencionadas anteriormente.

4. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a carbonatação acelerada melhorou significativamente propriedades mecânicas e a resistência à erosão dos tijolos de adobe com lama de cal. A lama de cal, rica em cálcio e sílica, favoreceu a formação de silicatos e carbonatos de cálcio durante a carbonatação, resultando em um aumento de até 180% na resistência à compressão. Os tijolos carbonatados apresentaram melhorias consideráveis em apenas 8 horas de tratamento. Apesar de inicialmente

apresentarem maior erosão, os tijolos com lama de cal mostraram maior resistência à erosão após a carbonatação, em contraste com os tijolos de cal hidratada, que não exibiram ganhos significativos. A carbonatação acelerada mostrou-se, portanto, uma solução eficaz para melhorar a durabilidade dos tijolos de adobe incorporados com lama de cal em condições adversas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology*, 22, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.077>
- Eslami, A., Mohammadi, H., & Mirabi Banadaki, H. (2022). Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 325, 126808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126808>
- Li, L., & Wu, M. (2022). An overview of utilizing CO₂ for accelerated carbonation treatment in the concrete industry. *Journal of CO₂ Utilization*, 60, 102000. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102000>
- Tonoli, G. H. D., Santos, S. F., Joaquim, A. P., & Savastano, H. (2010). Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre. *Construction and Building Materials*, 24(2), 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.018>