

## DREGS EM SUBSTITUIÇÃO À CAL HIDRATADA EM ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO

ALENCAR IBEIRO DE OLIVEIRA<sup>1</sup>; WHITE JOSÉ DOS SANTOS<sup>2</sup>;  
RAFAEL DE AVILA DELUCIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [alencar.ibeiro@ufpel.edu.br](mailto:alencar.ibeiro@ufpel.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – [white.santos@demc.ufmg.br](mailto:white.santos@demc.ufmg.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [rafaeldelucis@ufpel.edu.br](mailto:rafaeldelucis@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes indicam o Brasil como maior exportador de celulose, ocupando um lugar de destaque no ranking mundial, superando em mais de US\$ 1,9 bilhão o segundo colocado (Canadá) (IBÁ, 2022). No entanto, essa atividade industrial está associada a problemas de cunho ambiental devido ao volume expressivo de resíduos sólidos e efluentes gerados, fato esse que tem levado as empresas a buscarem conceitos da economia circular (QUINA; PINHEIRO, 2020).

Um exemplo ocorre em relação ao principal processo de produção de celulose no Brasil, conhecido como processo Kraft, que envolve a geração de resíduos, entre eles os dregs. O dregs consiste em partículas não dissolvidas, compostas por diferentes óxidos, que são formadas no processo de recuperação de materiais inorgânicos, após os processos de queima e evaporação do licor negro (QUINA; PINHEIRO, 2020). Esse resíduo ainda permanece inexplorado em escala industrial, entretanto, vários estudos têm tentado buscar alternativas de manejo em diversos setores, como materiais geotécnicos e na agricultura (SEWSYNKER-SUKAI; NAOMI DAVID; GUEGUIM KANA, 2020). Contudo, a incorporação desses resíduos em materiais de construção seria uma aplicação de maior valor agregado.

As argamassas de revestimento estão entre os principais materiais de construção na atualidade. São utilizadas na regularização de substratos verticais e tetos, devem manter-se aderidas ao substrato e fazer a homogeneização entre os diferentes elementos que compõem a edificação, além de proteger as alvenarias e as estruturas (CARASEK et al., 2011). Embora, com o advento dos aditivos, diversos países não utilizem mais a cal como componente de argamassas de revestimento, que nesse caso são chamadas mistas, no Brasil as argamassas mistas estão muitos difundidas e seguem sendo muito utilizadas.

A cal é produzida a partir de rochas calcárias por meio de um processo chamado de calcinação, em que:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Atualmente, estima-se que a produção de 1000 kg de cal emita entre 750 e 850 kg de  $\text{CO}_2$ , a depender se a cal é calcítica ou dolomítica, o que inclui as etapas de extração da matéria-prima, processamento e transporte. Nesse trabalho, pretende-se produzir e caracterizar argamassas mistas de revestimento não aditivadas com a substituição parcial da cal hidratada por dregs, semelhante a pesquisa de Azevedo et al., (2020), que substituíram o dregs pela cal no percentual de 5%, 10%, 15% e 20%, aplicando maior substituição (até 30%) a fim de aumentar o apelo ambiental dessas argamassas.

### 2. METODOLOGIA

O dregs em estudo foi fornecido pela empresa CMPC localizada em Guaíba/RS. A referida empresa produz anualmente 175 milhões de toneladas de celulose, além de 60 mil toneladas de papel usando fibra curta proveniente da

madeira de eucalipto. Esse resíduo foi seco em estufa a 105 °C por 24 h e moído em moinho de bolas cerâmicas por aproximadamente 5 h. A granulometria final desse material foi analisada usando uma sequência padronizada de peneiras e sua cristalinidade foi analisada por difração de raios x, usando um equipamento do LACER/UFRGS. Os demais materiais foram adquiridos comercialmente em Pelotas/RS.

As argamassas foram dosadas com base na metodologia de Santos et al. (2018), utilizando os seguintes materiais: cimento Portland, areia quartzosa, cal hidratada e dregs. Para determinar as proporções ideais das argamassas mistas de revestimento, levamos em consideração a curva granulométrica do agregado miúdo, bem como suas massas específicas real e unitária compacta. Isso nos permitiu calcular o teor de agregado miúdo e o volume de vazios. Uma quantidade fixa de 15% de água foi utilizada, e, com base nessas informações, as quantidades de areia, cimento e cal necessárias para cada traço foram determinadas.

Além disso, determinamos a densidade de massa e o teor de ar incorporado para caracterizar as argamassas no estado fresco, seguindo um método adaptado da NBR 13278 (ABNT, 2005). No estado endurecido, o coeficiente e a absorção de água por capilaridade foram determinados conforme as diretrizes da NBR 15259 (ABNT, 2005), que descreve as práticas recomendadas para simular a ascensão capilar de umidade em compósitos cimentícios.

As resistências à tração na flexão e à compressão foi medida de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando oito corpos de prova prismáticos para cada grupo. Os ensaios foram realizados aos 28 e 56 dias de idade.

Adicionalmente, conduzimos ensaios de resistência de aderência à tração ao substrato, utilizando quatro protótipos em alvenaria cerâmica em escala adequada. Esses protótipos foram expostos às condições climáticas, conforme descrito no experimento desenvolvido por Kurz (2017). Utilizamos o equipamento Solotest, com capacidade de 1500 kgf, para realizar o ensaio de arrancamento hidráulico manual, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma NBR 13528-2 (ABNT, 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas distribuições de tamanho de partícula (Figura 1A), verifica-se que os dregs são constituídos por partículas relativamente finas e pode ser utilizado para substituir a fração fina da cal, a ser utilizada dentro dos teores propostos na presente metodologia. O difratograma do dregs em estudo (Figura 1B), com base na ficha 9009667 da base de dados COD, indica a presença de uma fase predominante de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Embora espera-se a presença de íons de cálcio, além de contaminações provenientes da lignina, o  $\text{CaO}$  é o componente majoritário em dregs, sendo o único a formar fases cristalinas.

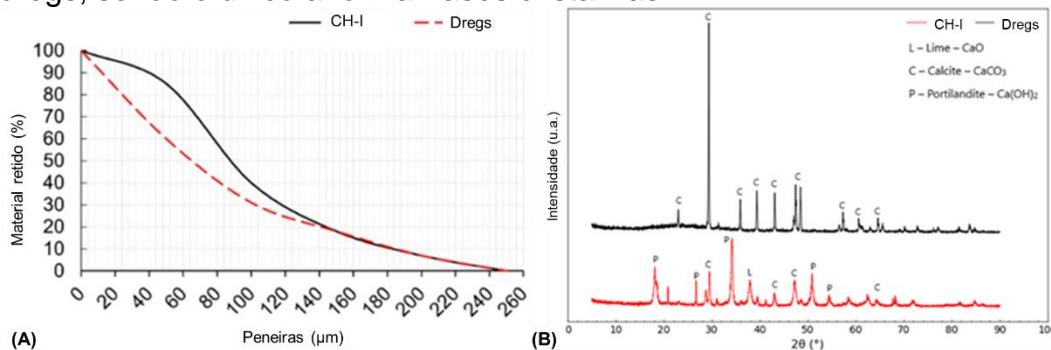


Figura 1 – Resultados de difração a laser e de raios x do dregs.

Em resumo, os resultados mostrados na Figura 2 sugerem que a adição de resíduos (dregs) nas argamassas pode influenciar positivamente suas propriedades, imitando em parte o efeito da cal na argamassa. Em termos dos resultados das Figuras 2A e 2B, todas as amostras atenderam aos padrões de classificação de acordo com NBR 13281 (grupo M5). Os resultados de resistência (Figuras 2C e 2D) mostraram que as argamassas com 56 dias de idade apresentaram níveis mais altos de resistência à compressão e flexão em comparação com as argamassas de 28 dias, devido ao aumento do nível de hidratação do cimento Portland utilizado em idades posteriores. Mesmo com o aumento da capilaridade (Figura 2E) devido aos resíduos, todas as argamassas em estudo apresentaram um alto nível de capilaridade, o que pode reduzir a vida útil da argamassa, devido à entrada de agentes agressivos, no entanto podem aumentar a resistência mecânica dessas argamassas devido à carbonatação. Além disso, os níveis de resistência ao arrancamento foram superiores a trabalhos recentemente realizados (BRANCO et al., 2021). A aderência (Figura 2F) é influenciada por fatores como penetração da pasta ligante nos poros e rugosidade do substrato, e todas as amostras atingiram a classe de resistência mais alta (A3) de acordo com os padrões atuais.

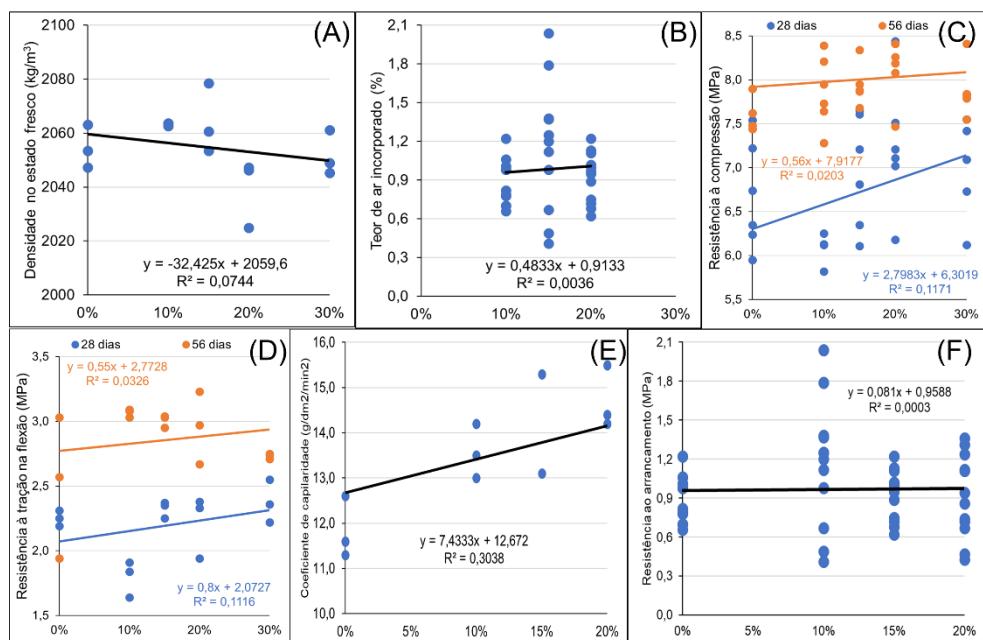


Figura 2 – Resultados de propriedades físicas e mecânicas das argamassas.

A microestrutura dos compósitos de cimento Portland é marcada pela formação de poros nas regiões interfaciais entre os agregados finos e o cimento, e isso foi confirmado pelas imagens apresentadas nas micrografias eletrônicas (Figura 3), que mostram um aumento na quantidade de poros à medida que o teor de resíduos aumentou. Além disso, os resultados indicam que a presença de resíduos não afetou a formação de cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que são determinantes para a maioria das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de cimento Portland.

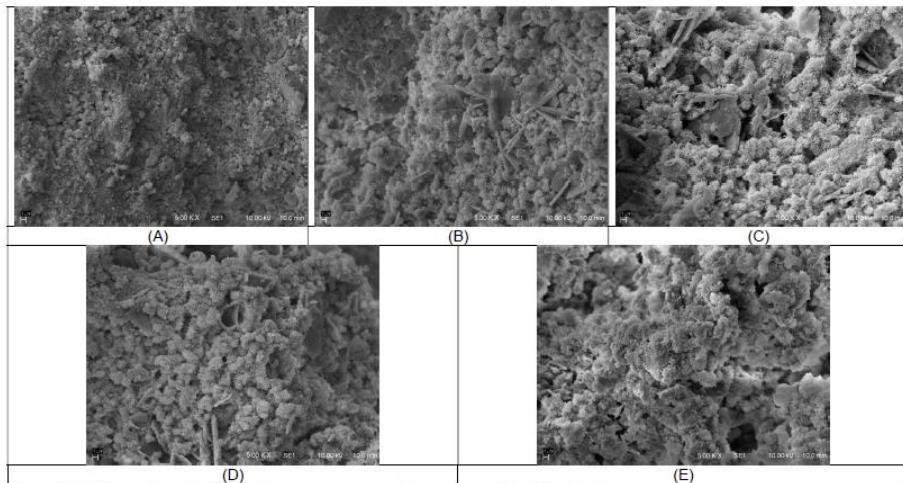


Figura 3 – Micrografias eletrônicas das argamassas.

Em que: A, B, C, D e E representam argamassas referências e incorporadas com 10, 15, 20 e 30% de dregs.

#### 4. CONCLUSÕES

Como resultado das semelhanças em termos de composição química e granulometria, os padrões de variação nas propriedades avaliadas para os corpos de prova de argamassa no estado fresco e endurecido apresentaram um padrão de similaridade em todos os percentuais de dregs estudados. As imagens de MEV obtidas indicaram que a presença de dregs nos corpos de prova de argamassa não alterou o mecanismo de formação dos cristais de C-S-H, o que explica o alto grau de similaridade das propriedades avaliadas no estado fresco e endurecido.

Esses resultados são de grande valor, pois permitem concluir que as novas argamassas aqui estudadas são viáveis e eficientes sem o uso de aditivos, além de indicar que o dregs pode atuar de forma semelhante à cal em argamassas mistas. A possibilidade de substituição parcial da cal confere ao dregs um elevado valor agregado e, em termos econômicos, pode ser uma alternativa para a redução de custos e a mitigação dos impactos ambientais relacionados com à utilização da cal CH-I.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, A. R. G. et al. Technological and environmental comparative of the processing of primary sludge waste from paper industry for mortar. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119336, mar. 2020.
- BRANCO, F. G. et al. Mechanical performance of lime mortar coatings for rehabilitation of masonry elements in old and historical buildings. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, 2021.
- IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores, Aspectos Econômicos do Setor e Produção Industrial, Relatório Anual, p. 22-46, 2022.
- QUINA, M. J.; PINHEIRO, C. T. Inorganic waste generated in kraft pulp mills: The transition from landfill to industrial applications. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 7, 2020.
- SEWSYNKER-SUKAI, Y.; NAOMI DAVID, A.; GUEGUIM KANA, E. B. Recent developments in the application of kraft pulping alkaline chemicals for lignocellulosic pretreatment: Potential beneficiation of green liquor dregs waste. **Bioresource Technology**, v. 306, n. January, p. 123225, 2020.