

COMPORTAMENTO DE RESÍDUO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO ESTABILIZADA COM LIGANTE ALTERNATIVO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL

Jonas Duarte Mota^{1,2*}, Giovana Pelisser³, Eduardo Pavan Korf^{2,4}

1 Introdução

Os resíduos provenientes de diferentes atividades produtivas podem ser estudados com o objetivo de agregar valor, reduzir os impactos ambientais e contribuir com a busca de uma economia cíclica e sustentável. Dentre os resíduos gerados e descartados em elevada quantidade, destaca-se a areia descartada de fundição (ADF) e a cinza de casca de arroz (CCA). A ADF possui características similares à areias naturais e industriais (e.g. granulometria e mineralogia), porém, pode apresentar metais pesados em sua constituição (Bragagnolo et al., 2018). Portanto, estudos de aplicação de ADF não requerem somente avaliação de comportamento mecânico, como também de lixiviação de contaminantes.

Em escala global, a produção de arroz resulta na geração de 160 milhões de toneladas de casca de arroz, a qual é destinada à aterros (Mosaberpanah and Umar, 2019) e também, utilizada como combustível para produção de energia, originando a CCA. Esta cinza representa uma fonte de sílica amorfa, a qual pode contribuir para propriedades mecânicas e reativas de materiais, sendo de grande interesse para a construção civil e na geotecnia (Mosaberpanah and Umar, 2019).

Outro resíduo industrial que vem despertando interesse no contexto de estabilização de solos é a cal de carbureto (CC). Este resíduo é oriundo da produção de gás acetileno (Consoli et al., 2019a; Consoli et al. 2021). A CC é composta por aproximadamente 74% de CaO (Consoli et

1 Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, bolsista, *campus Erechim RS*, contato: jonasduartemota@gmail.com

2 Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental.

3 Engenheira Civil, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, UFFS, *campus Erechim*

4 Doutor em Engenharia Civil, docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus Erechim*, **Orientador**, contato: eduardo.korf@uffs.edu.br



al., 2019b), enquanto que, cales tradicionais como a cal calcítica e cal dolomítica apresentam em média 56% (Sampaio and Almeida, 2005) e 45.9% CaO (Tonini de Araújo et al., 2021) respectivamente.

Apesar do potencial da utilização destes resíduos em estabilização para obras geotécnicas e de pavimentação, verifica-se na literatura a carência de pesquisas envolvendo reações pozolânicas para estabilização da ADF. Investigação de ligantes alternativos, oriundo de resíduos industriais, para estabilizar ADF representa um campo de pesquisa ainda a ser explorado. Outra possibilidade interessante é avaliar se matrizes de ADF-ligantes alternativos são capazes de imobilizar contaminantes presentes na composição dos resíduos.

2 Objetivos

Avaliar o comportamento mecânico e ambiental de mistura de resíduo de ADF estabilizado com ligante alternativo de cinza de casca de arroz e cal de carbureto e realizar a comparação da mistura utilizando cal hidratada.

3 Metodologia

A ADF é um resíduo de uma indústria metalúrgica de produção de peças fundidas de ferro no município de Erechim, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. A CCA é proveniente de uma indústria termoeletrica com produção de energia elétrica através da queima da casca do arroz, estabelecida no sul do Brasil. A CC é oriunda de uma indústria produtora de gás acetileno, localizada no município de Sapucaia do Sul, RS. A CH, oriunda de rochas dolomíticas, foi escolhida devido a disponibilidade e maior uso em obras geotécnicas no Brasil. Tanto a CCA quanto as cales foram submetidas ao processo de secagem e peneiramento (malha nº 200 - 0,075 mm).

Para determinação do tamanho das partículas e distribuição granulométrica quanto ao tamanho médio das partículas da CCA, da CC e CH, utilizou-se o equipamento de difração a laser, modelo Cilas – 1064.

A fim de otimizar o estudo das variáveis, foi escolhido fixar uma quantidade de cal, através do método ICL (*Initial Consumption of Lime*). Por se tratar de uma mistura de três resíduos



distintos e sem um método de estabilização adequado para resíduos, foi optado por uma porcentagem maior de cal de carbureto, também para chegar ao equivalente de cal hidratada. Foi então fixado em um valor de 10% para ambas as cales sobre a massa total de solo.

A definição das porcentagens de CCA e os tempos de cura de cada mistura baseou-se em experiências encontradas na literatura, também com cinza de casca de arroz ou mesmo outros tipos de cinzas, como a cinza volante.

Para avaliar o comportamento sob compactação dos materiais foi adotada a ASTM D1557 (ASTM, 2021), com energia de compactação modificada.

Após as definições das porcentagens de cada material, foram moldados os corpos-de-prova (CP) para serem avaliados em termos de resistência à compressão simples, segundo a ASTM C39/2010. Admitiu-se um coeficiente de variação de $\pm 3\%$ para os índices físicos dos corpos de prova moldados. Após moldados, os CPs foram submetidos à cura em sacos plásticos herméticos sob temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Restando 1 dia para o término do período de cura, os corpos de prova foram imersos em água durante 24 horas para reduzir a sucção, conforme proposto por Consoli, Dalla Rosa e Saldanha (2011).

Para avaliar o desempenho ambiental foi escolhida a melhor mistura de cada cal estudada com melhor comportamento mecânico. Estas duas misturas foram submetidas aos ensaios de lixiviação e solubilização, conforme 10005 e 10006 (ABNT, 2004b; ABNT 2004c).

4 Resultados e Discussão

A distribuição granulométrica a laser apresenta um formato característico de um material com granulometria bem distribuída, um material não plástico, com maior porção das partículas com granulometria de silte (0,002-0,06mm).

Nos resultados médios de RCS nota-se que, para misturas com ambas cales, os maiores teores de CCA (30%) e peso específico (13.5 kN/m^3) resultaram em maiores resistências (1500 kPa para CC e 2000 kPa para CH). A magnitude das resistências entre as cales foi maior para as misturas com CH (em média 29.2%). Considerando as misturas com CC, de $\gamma_d = 13.5 \text{ kN/m}^3 + 30\% \text{ RHA}$ e $\gamma_d = 12.0 \text{ kN/m}^3 + 30\% \text{ RHA}$, houve um aumento de 127% aos 90 dias em relação à mistura com $\gamma_d = 12.0 \text{ kN/m}^3 + 30\% \text{ RHA}$ aos 90 dias. Quanto à CH, os incrementos



de resistências entre o peso específico seco máximo e mínimo foi de 137% considerando os 90 dias. Na mistura ADF-CCA-CC, possivelmente 10% de cal corresponde a um teor excessivo, em que há íons Ca^{2+} livres que não reagiram com sílica amorfa da CCA, interferindo negativamente no ganho de resistência. Cabe lembrar que a CC apresenta 71,1% de CaO, enquanto que a CH possui 52.5%.

As amostras com melhor comportamento mecânico foram as amostras com 90 dias de cura, 30% de CCA e peso específico de 13.50 kN/m^3 , para ambas as cales. Estes resultados estão de acordo com dados da literatura que tiveram melhores resultados também com porcentagem de cinza mais elevada (Consoli et al., 2019b) e pesos específicos maiores (Consoli et al., 2021), assim como tempos de cura mais elevados (Consoli et al., 2001).

Os ensaios de lixiviação e solubilização são necessários para a classificação e desempenho ambiental de materiais, compreendendo o tipo de risco ambiental que a utilização dos resíduos na forma de mistura acarretaria em caso de empregá-los em larga escala. A quantidade de extrato lixiviado e solubilizado para todos os elementos analisados ficou abaixo dos limites dos anexos F e G da NBR 10004 (ABNT, 2004a), sendo assim todas as misturas apresentam desempenho ambiental satisfatório, podendo ser avaliadas de maneira similar à resíduos com classificação inerte Classe II-B, o que sugere que as misturas cinza-cal para estabilização da areia de fundição encapsularam os metais, sendo algo muito positivo para as misturas nas porcentagem analisadas.

5 Conclusão

A partir dos resultados obtidos, podemos observar que misturas entre três resíduos industriais e uma cal hidratada, se mostraram promissoras para a utilização em diferentes obras de engenharia. Verificou-se que a estabilização promovida resulta no encapsulamento de contaminantes presentes no meio e tem potencial para ser aplicada na estabilização de solos em coberturas de aterros, subleitos de rodovias, entre outras aplicações, agregando valor aos resíduos.



Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM. ASTM C39 / C39M - 21. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA, 2010.

_____. D1557-12e1: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/ m³)). Pennsylvania, 2012.

BRAGAGNOLO, L. et al. Caracterização de resíduos da fundição de ferro e avaliação de possíveis aplicações na construção civil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), n. 50, p. 61–77, 2018.

CONSOLI, N. C. et al. Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixtures. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 127, n. 9, p. 774–782, 2001.

CONSOLI, N. C.; ROSA, A. D.; SALDANHA, R. B. Variables Governing Strength of Compacted Soil-Fly Ash-Lime Mixtures. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 4, p. 432–440, 2011.

CONSOLI, N. C. et al. Strength and Stiffness of Ground Waste Glass – Carbide Lime Blends. **American Society of Civil Engineers**, v. 31, n. 10, p. 2–7, 2019a.

CONSOLI, N. C. et al. The effects of curing time and temperature on stiffness, strength and durability of sand-environment friendly binder blends. **Soils and Foundations**, v. 59, n. 5, p. 1428–1439, 2019b.

CONSOLI, N. C. et al. General relationships controlling loss of mass, stiffness and strength of sustainable binders amended sand. **Transportation Geotechnics**, n. 27, 100473, 2021.

MOSABERPANAH, M. A.; UMAR, S. A. Utilizing Rice Husk Ash as Supplement to Cementitious Materials on Performance of Ultra High Performance Concrete: – A review. **Materials Today Sustainability**, p. 7–8, 2019.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, M. D. L. S. Calcário e Dolomito. In: **Rochas e Minerais Industriais**. [s.l.: s.n.]. p. 327–350.

TONINI DE ARAÚJO, M.; TONATTO FERRAZZO, S.; JORDI BRUSCHI, G. J.; CONSOLI, N. C. Mechanical and Environmental Performance of Eggshell Lime for Expansive Soils Improvement. **Transportation Geotechnics**, v. 31, n. October, 2021.



Palavras-chave: Estabilização química; Resistência à compressão simples; Cal hidratada; Cinza de casca de arroz; Areia de Fundição.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2021-0364

Financiamento

Somente para bolsistas: **PROBIC-FAPERGS.**