

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS USADOS NA ESTABILIZAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO DE FERRO POR ÁLCALI-ATIVAÇÃO⁶

**WILLIAM MATEUS KUBIAKI LEVANDOSKI^{1,2}, SUÉLLEN TONATTO FERRAZZO^{3,2},
JÚLIA KLIPEL PAIXÃO^{4,2}, EDUARDO PAVAN KORF^{5,2}**

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, produzindo cerca de 18,9% das 2,4 bilhões de toneladas processadas em 2017, ficando atrás apenas da Austrália (36,7%) (DE JESUS; JOAQUIM, 2018). Todavia, as atividades do setor de mineração geram inúmeros impactos negativos. No Brasil em 2014, cerca de 275,5 milhões de toneladas de rejeito de minério de ferro foram utilizadas como material de aterro e armazenadas em barragens (DAUCE et al., 2018).

Diante deste cenário, inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas com foco na caracterização de resíduos de mineração, compreensão de suas propriedades, bem como no comportamento e estabilidade, impactos, alternativas de remediação e de reciclagem (CAPASSO *et al.*, 2019). Uma alternativa de valorização dos rejeitos da mineração pode ocorrer por meio da sua estabilização com adição de agentes cimentantes, tendo como principal representante o cimento Portland, o que implica em superexploração de recursos naturais, elevado consumo energético e emissão de gás de efeito estufa (OBENAU-EMLER; FALAH; ILLIKAINEN, 2020).

Como promissoras alternativas ao cimento Portland, ligantes álcali-ativados oriundos da ativação alcalina de inúmeros resíduos (fonte de aluminossilicatos) vêm sendo estudados, sendo que resíduos industriais que apresentam conteúdos de óxidos de cálcio e sílica, superior 70%, e óxido de alumínio, inferior à 20%, podem ser utilizados como precursores para produção de ligantes álcali-ativados (KRIVENKO, 2017). Potenciais materiais a serem álcali-ativados são a cinza do bagaço de cana-de-açúcar e a cal de casca de ovo. A cinza de bagaço de cana é considerada um material pozolânico, apresentando conteúdos de óxidos de sílica, alumínio e ferro superiores a 70% (BERENGUER *et al.*, 2020). Já a cal de casca de ovo é constituída por elevadas quantidade de óxido de cálcio, podendo variar de 85% a 92% (BENSAIFI *et al.*, 2019). A aplicação destas pozolanas naturais em ligantes, não somente minimiza a quantidade de resíduos depositados em

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus* Erechim, **bolsista**, contato: williankubi@gmail.com.

² Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental.

³ Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Escola de Engenharia.

⁴ Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus* Erechim.

⁵ Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, instituição UFFS, *campus* Erechim, **Orientador**.

⁶ Trabalho referente ao subprojeto aprovado no Edital N° 270/GR/UFFS/2021 - ESTABILIZAÇÃO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO COM LIGANTE ÁLCALI-ATIVADO ORIUNDO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAL DE CASCA DE OVO - PES-2020-0458.

aterros (e impactos associados), como também reduz a extração de recursos naturais para produção de cimento Portland.

A ativação alcalina vem sendo explorada como uma metodologia promissora para estabilização de rejeitos e fixação de metais pesados (OBENAU-EMLER; FALAH; ILLIKAINEN, 2020). Sua aplicação na estabilização de rejeitos da mineração ainda é muito recente e corresponde à um vasto campo de pesquisa a ser explorado. Nesse sentido, o presente trabalho visa de forma primordial caracterizar os resíduos, a fim de verificar a possibilidade da utilização dos mesmos em um ligante álcali-ativado para estabilização do rejeito da mineração de ferro.

2 OBJETIVOS

Caracterizar as propriedades físicas e químicas do rejeito da mineração de ferro, da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e da cal de casca de ovo, a fim de serem incorporados na estabilização do rejeito por meio de álcali-ativação.

3 METODOLOGIA

Os materiais utilizados nesta pesquisa e respectivas abreviações foram: rejeito de minério de ferro (RMF); cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e cal de casca de ovo hidratada (CCOH). RMF e a CBCA foram secos em estufa (com circulação/renovação de ar) a 50 °C durante 48h. A CCOH foi produzida em laboratório e compreendeu os processos de: lavagem (i), secagem (ii), trituração em moinho (iii) e calcinação das cascas em forno mufla (iv); hidratação da cal em água destilada por 48h (v), e peneiramento (vi). A caracterização física e química dos materiais foi realizada conforme especificações sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização dos materiais

Avaliação	Resposta	Materiais – Método/técnica		
		RMF	CBCA	CCOH
Física	Distribuição granulométrica	NBR 7181 (ABNT, 2018)	Granulometria a laser	Granulometria a laser
	Massa específica das partículas	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	NBR 16605 (ABNT, 2017)	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Química	Composição química	FRX	FRX	FRX

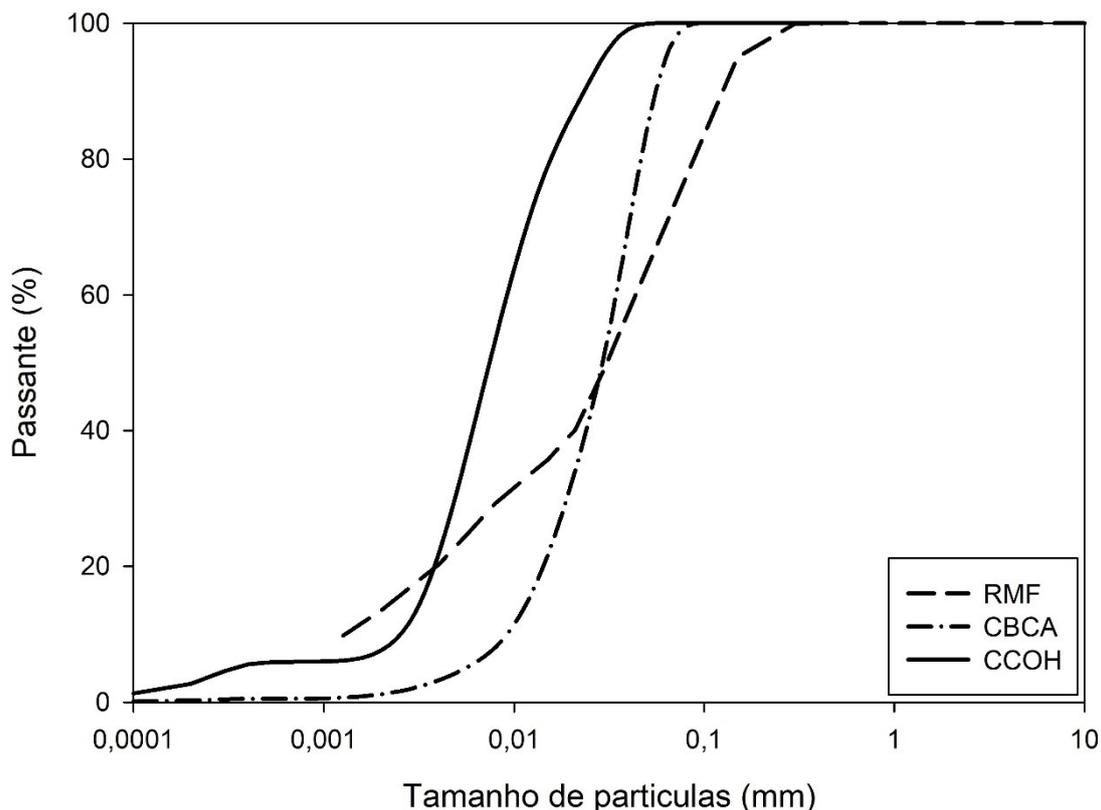
A composição química foi determinada pela técnica de FRX, em amostra prensada, na calibração STD-1 (*Standardless*), em um espectrômetro de fluorescência de raios X, marca *Bruker*, modelo S8 *Tiger*. A análise de granulometria a laser, foi determinada por difração de raios laser em analisador de tamanhos de partículas Cilas, modelo 1064.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de massa específica para RMF, CBCA e CCOH resultaram em 2,93 g.cm⁻³, 2,24

$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $2,08 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ respectivamente. Conforme apresentado na Figura 1, o RMF apresenta em sua distribuição granulométrica uma maior fração de areia fina (48,95%), seguido por silte (30,72%) e argila (20,33%). A CBCA e a CCOH são constituídas principalmente por partículas de tamanho correspondente silte, isto é, 90,13% e 93,01% respectivamente.

Figura 1. Curva granulométrica do rejeito de mineração de ferro (RMF), cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e cal de casca de ovo (CCOH).



De acordo com os resultados expostos na Tabela 1, o RMF é composto principalmente por óxidos de ferro (49,3%), silício (35,1%) e alumínio (8,48%). A CBCA é composta principalmente por óxidos de silício (60,65%), ferro (13,83%) e alumínio (5,76%), dentre outros, mostrando-se uma boa fonte de aluminossilicatos, como também evidenciado por Berenguer *et al.* (2020). Por sua vez, a CCOH corresponde a uma rica fonte de cálcio, 72,9% de CaO, estando em consonância com Bensaifi *et al.* (2019). Esta composição permite verificar que a CBCA e CCOH tem alto potencial de serem aplicados como ligante álcali-ativados, devido a quantidade significativa de óxidos com característica reativa para a estabilização do rejeito de mineração de ferro (KRIVENKO, 2017).

Tabela 1. Composição química (FRX) do rejeito de mineração de ferro (RMF), cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e cal de casca de ovo (CCOH).

Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
RMF (%)	35,1	8,48	49,3	1,29	0,20	0,07	-	0,06	0,32	0,31	4,61
CBCA (%)	60,65	5,76	13,87	0,45	1,97	1,40	0,22	2,90	4,14	1,26	7,38
CCOH (%)	0,12	0,13	0,15	-	1,17	72,9	-	-	-	-	25,14

5 CONCLUSÃO

A partir deste estudo foi possível caracterizar física e quimicamente o rejeito de mineração de ferro (RMF), a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e a cal de casca de ovo hidratada (CCOH). Os resultados obtidos a partir da caracterização física demonstraram que o RMF é constituído principalmente de areia fina, já a CBCA e a CCOH são constituídas majoritariamente por partículas de tamanho correspondente a silte. A caracterização química do RMF apresentou um elevado teor de óxidos de ferro, enquanto que, a CBCA apresentou elevado teor de óxidos de silício e a CCOH uma grande quantidade de óxidos de cálcio. Diante dos resultados apresentados, os materiais demonstram um elevado potencial para serem utilizados na estabilização do rejeito de mineração de ferro pela técnica de álcali-ativação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- BENSAIFI, E.; BOUTELDJA, F.; NOUAOURIA, M. S.; BREUL, P. Influence of crushed granulated blast furnace slag and calcined eggshell waste on mechanical properties of a compacted marl. **Transportation Geotechnics**, v. 20, n. May, 2019.
- BERENGUER, R. A.; CAPRARO, A. P. B.; DE MEDEIROS, M. H. F.; CARNEIRO, A. M. P.; DE OLIVEIRA, R. A. Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 103655, 2020.
- CAPASSO, I.; LIRER, S.; FLORA, A.; FERONE, C.; CIOF, R.; CAPUTO, D.; LIGUORI, B. Reuse of mining waste as aggregates in fly ash-based geopolymers. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 65–73, 2019.
- DAUCE, P. D.; CASTRO, G. B. DE; LIMA, M. M. F.; LIMA, R. M. F. Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, p. 1052–1059, 2018.
- DE JESUS, C. A. G.; JOAQUIM, L. G. Sumário Brasileiro Mineral 2018: Ferro. **Agência Nacional de Mineração**, p. 1–3, 2018.

KRIVENKO, P. Why alkaline activation - 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. **Journal of Ceramic Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 323–333, 2017.

OBENAUUS-EMLER, R.; FALAH, M.; ILLIKAINEN, M. Assessment of mine tailings as precursors for alkali-activated materials for on-site applications. **Construction and Building Materials**, v. 246, p. 118470, 2020.

Palavras-chave: Resíduos industriais e de mineração; Ativação alcalina; Resistência; Lixiviação; Mineralogia e microestrutura.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2020-0458.

Financiamento: UFFS