

AVALIAÇÃO DA LAMA VERMELHA COMO MATERIAL POZOLÂNICO EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

E.P. Manfroi¹, M. Cheriaf², J. C. Rocha³

Rua João Pio Duarte Silva, s/n, bloco B, sala 109, Córrego Grande, Florianópolis-SC

e_mail: elizmanfroi@yahoo.com.br / malik@valores.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

A lama vermelha, resíduo oriundo do refino do bauxito para produção de alumina é gerada em grandes quantidades em diversos países do mundo. Neste estudo foi avaliado o potencial pozolânico da lama vermelha seca e calcinada nas temperaturas de 600,700,800 e 900°C através da análise do consumo de hidróxido de cálcio, utilizando-se análise térmica diferencial e, empregando-se a metodologia da NBR 5752 (1992) da comparação das resistências à compressão. A investigação dos compostos hidratados foi realizada em pastas produzidas com 5 e 15% de lama vermelha em substituição ao cimento, usando as técnicas de difração de raios-X e de análise térmica diferencial. O ensaio de resistência à compressão e de absorção de água por capilaridade foram realizados sobre as argamassas constituídas de 5,10 e 15% de lama vermelha em substituição ao cimento. Quando calcinada à 600°C, a lama vermelha apresentou boa atividade pozolânica e, as argamassas produzidas com este resíduo apresentaram resistência à compressão dentro dos limites normativos. Assim, a lama vermelha poderá substituir parcialmente o cimento para produção de argamassas de baixo custo ambiental.

Palavras-chave: lama vermelha, pozolana, argamassas.

INTRODUÇÃO

A lama vermelha (LV) é um resíduo oriundo do refino do bauxito durante o processo Bayer para a produção da alumina e posterior produção do alumínio.

Na França, pesquisas demonstraram que a lama vermelha francesa apresenta boa atividade pozolânica quando calcinada e, pode ser utilizada para produção de argamassas e concretos ^(1,2). No Brasil, pesquisas avaliaram a influência da adição de lama vermelha seca no tempo de início e fim pega do cimento Portland através do aparelho de Vicat e, o índice de pozolanicidade do resíduo de acordo com a norma brasileira NBR 5752 ^(3,4).

O fato de existir pesquisas que avançam em questões como a influência da temperatura de calcinação sobre a atividade pozolânica da lama vermelha, remetem para a necessidade de se estudar o potencial pozolânico da lama vermelha brasileira seca e calcinada, através de procedimentos além dos aplicados nas normas.

Este artigo avalia a propriedade pozolânica da lama vermelha brasileira seca e calcinada em diferentes temperaturas pelo procedimento do consumo de hidróxido, e em comparação com norma brasileira NBR 5752. Além disso, o trabalho tem como um de seus enfoques analisar os compostos hidratados em pastas produzidas com lama vermelha brasileira em substituição ao cimento. A avaliação da resistência à compressão e absorção de água por capilaridade em argamassas confeccionadas com lama vermelha também são apresentadas neste artigo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A amostra de lama vermelha foi coletada em uma indústria produtora de alumina no estado de Minas Gerais. Para a produção das pastas e argamassas utilizou-se a LV seca e calcinada. A lama vermelha foi seca em estufa a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ e, posteriormente calcinada nas temperaturas de 600, 700, 800 e 900°C -1 hora. As amostras de LV foram moídas e peneiradas para obtenção de uma granulometria inferior a 0,15 mm. Com o objetivo de obter as características químicas da lama vermelha foi realizado o ensaio de análise química (EDX). A composição química da lama vermelha seca e calcinada é apresentada na Tab. 1.

Tabela 1: Composição química da lama vermelha seca e calcinada

Amostra	Óxidos (%)				
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	CaO
LV- Seca	32,220	23,977	21,904	9,321	3,697
LV- 600°C	28,948	19,528	18,362	9,014	3,058
LV- 700°C	28,639	19,033	18,496	9,469	3,016
LV- 800°C	28,651	18,882	18,693	9,708	2,955
LV- 900°C	29,645	18,924	18,248	8,912	3,028

Métodos

Para avaliar o potencial de pozolanicidade da lama vermelha utilizou-se o método do consumo de hidróxido de cálcio ^(5,6). As pastas com lama vermelha e pasta referência foram moldadas com relação água/sólido de 0,60. Após os períodos de hidratação: 3, 7 e 28 dias, as amostras foram secas em estufa, moídas e submetidas à análise térmica diferencial. A avaliação da atividade pozolânica,

também foi realizada conforme o critério de procedimento estabelecido pela normalização brasileira ⁽⁷⁾.

A investigação dos compostos hidratados foi realizada em pastas compostas por 5 e 15% de lama vermelha seca e calcinada, em substituição em massa ao cimento CII-F-32. As pastas foram moldadas com relação água/aglomerante de 0,3 e aditivo superplastificante. Após os períodos de hidratação (3, 7 e 28 dias), as amostras foram secas em estufa, moídas e, submetidas aos ensaios de difração de raios-X e análise térmica diferencial.

Para o ensaio de resistência à compressão e absorção de água por capilaridade foram produzidas argamassas no traço 1:3, com relação água/cimento de 0,53. O cimento CII-F-32 foi substituído por 5,10 e 15% de LV seca ou calcinada. Nas argamassas com 10 e 15% de lama vermelha foi utilizado aditivo superplastificante. Para a determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas adotou-se o procedimento utilizado pelo ValoRes ⁽⁸⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da atividade pozolânica da lama vermelha

Método do consumo de hidróxido de cálcio

Os termogramas das pastas com lama vermelha seca, calcinada a 600 e 900°C e pasta referência (3, 7 e 28 dias) são apresentados na Fig. 1. Os resultados obtidos mostram a presença de pico endotérmico a 115 e 125°C, o qual indica a presença de silicato de cálcio hidratado (CSH) e possivelmente gel CAH. A fase A_{fm} é evidenciada pelo pico endotérmico a 200°C. O pico em torno de 320°C é atribuído à desidroxilação da gibbsita - Al(OH)₃. O pico entre 500 e 550°C representa o Ca(OH)₂ residual. Nas pastas com LV calcinada a 700 e 800°C foram identificados os mesmos picos encontrados nas pastas com LV calcinada a 600°C, variando apenas o tamanho do pico. Diferente das outras amostras, a pasta com lama vermelha calcinada a 900°C não apresentou gibbsita atribuído à sua desidroxilação completa e irreversível transformando-se na formas de alumina alfa (αAl₂O₃).

Para as pastas produzidas com lama vermelha seca e calcinada, quanto maior a idade, menor é a área do pico do Ca(OH)₂ e, conseqüentemente, maior é o consumo de hidróxido de cálcio e maior o potencial pozolânico.

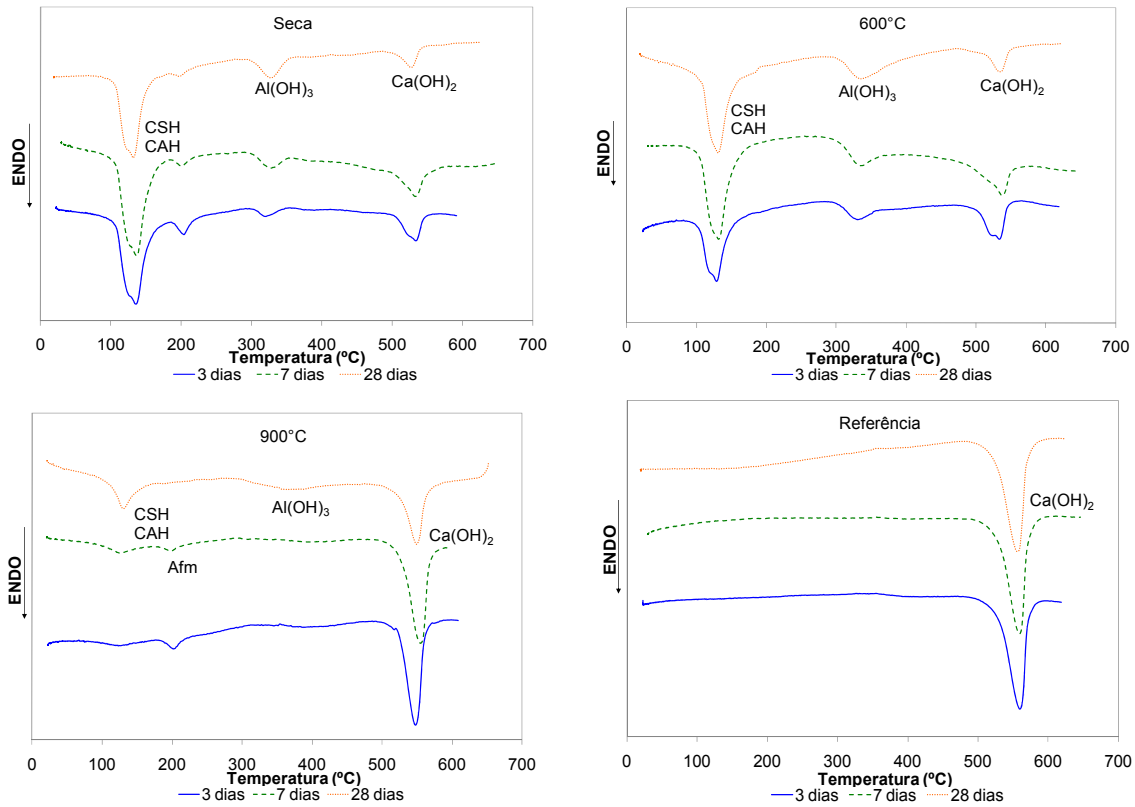


Figura 1 – Termogramas da pasta referência e das pastas com LV seca e calcinada

Índice de atividade pozolânica – NBR 5752

Os resultados dos índices de atividade pozolânica demonstram que as amostras de lama vermelha seca e calcinada não apresentam o índice de atividade pozolânica mínimo de 75% quando avaliadas pela metodologia da NBR 5752 (1992), conforme apresentado na Fig. 2.

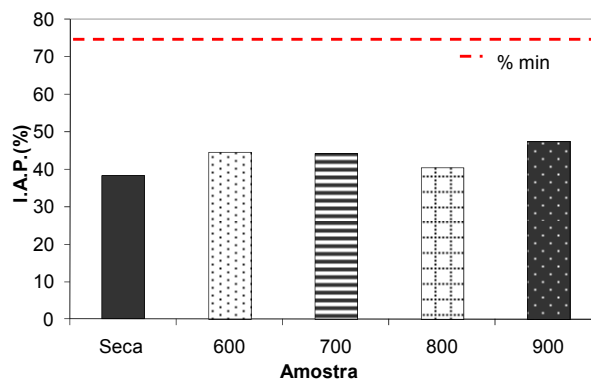


Figura 2 - Índice de atividade pozolânica da LV com cimento aos 28 dias

Investigação dos compostos hidratados

As pastas produzidas com 15% de lama vermelha calcinada a 600 e 900°C e as pastas de referência apresentaram os mesmos produtos de hidratação: a

etringita (E) e a portlandita (CH), indicando que a incorporação da LV nas misturas não modificou os tipos de compostos normalmente hidratados em uma pasta de cimento. A Fig. 3 apresenta os difratogramas das pastas com 15% de LV calcinada a 600°C. A presença de calcita (C) nas pastas provém do tipo de cimento utilizado (CPII-F-32), o qual é composto por 6 a 10% de fíler calcário.

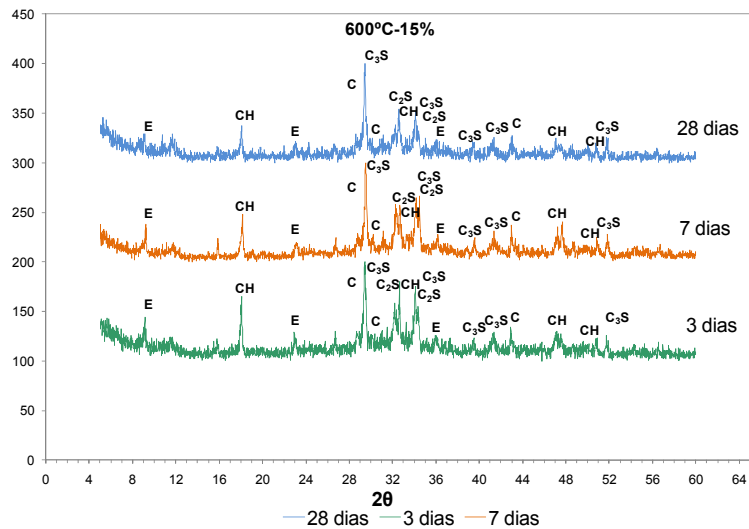


Figura 3 - Difratogramas das pastas com 15% de lama calcinada à 600°C

A Fig. 4 apresenta os termogramas das pastas com 5% e 15% de lama vermelha e da pasta de referência respectivamente. As análises térmicas diferenciais nas pastas com 5 e 15% de LV mostraram a formação do silicato de cálcio hidratado (CSH) e, a existência de um novo composto hidratado, a fase Afm e também, possivelmente gel CAH, que de fato não existem nas pastas de referência (somente cimento). A presença do pico pequeno a 300°C, nas pastas produzidas com lama vermelha seca e calcinada a 600, 700 e 800°C é correspondente a presença residual da gibbsita. O pico entre 500 e 600°C é associado à portlandita (CH).

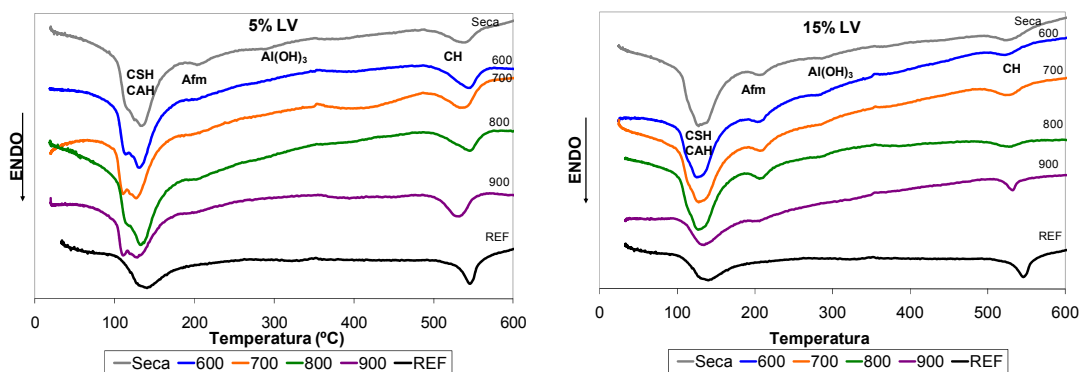


Figura 4 - Termogramas das pastas produzidas com 5 e 15% de LV e da pasta referência

Avaliação da resistência à compressão

As argamassas confeccionadas com 5% de lama vermelha seca e calcinada a 600, 700 e 800°C apresentaram valores de resistência à compressão aos 28 dias em média iguais aos valores de resistência à compressão da argamassa referência (Fig. 5). As argamassas produzidas com substituições de cimento por 10 e 15% de lama vermelha seca ou calcinada a 600, 700 e 800°C apresentaram resistência inferior à amostra de referência, entretanto, podem ser utilizadas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, onde não são necessárias elevadas resistências à compressão para sua utilização. Somente a LV calcinada a 900°C pode substituir até 15% da massa do cimento aumentando a resistência das argamassas.

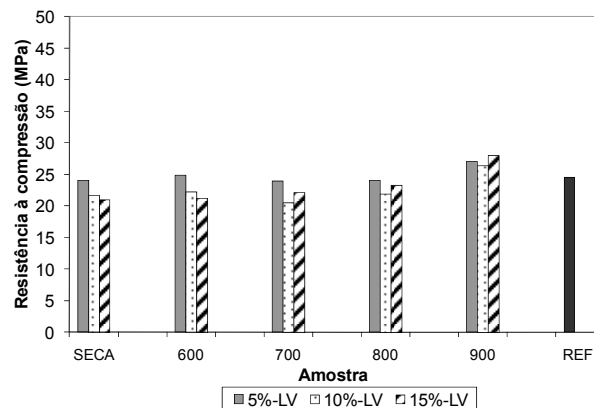


Figura 5 – Resistência à compressão média das argamassas

Absorção de água por capilaridade e ângulo de molhamento

As substituições de cimento por 5% de lama vermelha seca ou calcinada diminuíram a sorptividade das argamassas, isto quando comparadas com a argamassa de referência (Fig. 6 (a)). As menores sorptividades nas argamassas com 5% de LV parecem estar relacionadas com a propriedade pozolânica e um possível efeito filer da LV, onde os cristais grandes e orientados de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ são substituídos por inúmeros cristais menores e menos orientados, reduzindo a conectividade dos poros e diminuindo a quantidade de água absorvida. As argamassas contendo 10% de lama vermelha (Fig. 6 (b)) apresentaram uma maior sorptividade quando comparadas com as argamassas produzidas com 5% de LV. Das amostras analisadas, destaca-se a argamassa com LV calcinada à 900°C, pois sua menor área específica parece ter promovido um maior efeito filer, ocasionando um refinamento dos poros e melhorando a propriedade de capilaridade das argamassas.

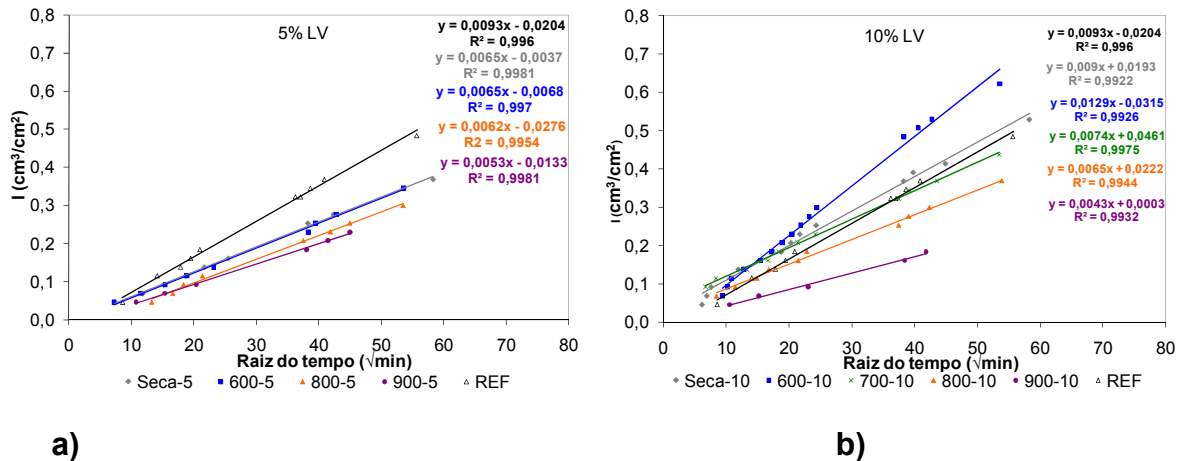


Figura 6 - Volume de água pela secção da amostra x raiz do tempo: a) argamassas com 5% de LV e referência b) argamassa com 10% de LV e referência

CONCLUSÕES

As lamas vermelhas brasileiras secas e calcinadas a 600, 700, 800 e 900°C apresentaram propriedade pozolânica. Apesar da avaliação da atividade pozolânica da LV pelo procedimento da norma NBR 5752 (1992) classificar a LV como material não pozolânico, no estudo do consumo do hidróxido de cálcio com a análise térmica diferencial, as amostras de LV seca e calcinada a 600, 700 e 800°C apresentaram um elevado consumo de hidróxido de cálcio, sendo o maior consumo medido a 600°C. Além disso, a presença de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), da fase A_{fm} e possivelmente gel CAH, indicam que a lama vermelha possui atividade pozolânica, pois a sílica e a alumina nela contida reagiram com o hidróxido de cálcio, formando estes compostos com propriedades cimentantes. A lama vermelha calcinada a 900°C apresenta o menor consumo de hidróxido de cálcio, porém, apresenta a maior resistência à compressão, mostrando assim um maior efeito fíler. Os resultados da propriedade pozolânica, resistência à compressão e sorptividade, mostram que a substituição mais indicada é de lama vermelha calcinada a 600°C.

REFERÊNCIAS

- PERA, J.; BOUMAZA, R.; AMBROISE, J. . Development of a pozzolanic pigment from red mud. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n.10, p. 1513-1522, 1997.
- AMBROISE, J.; PERA, J. Red mud, an interesting secondary raw material. In: CIB SYPOSIUM ON CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, São Paulo, 2000.
- MONTINI, M.; GALLO, J.B; MARTINS, L.T; MAIA, E.L; YAMAMOTO, C.F.; LOURENÇO, R.R; RODRIGUES, J. A. Aplicações do resíduo de bauxita e da cinza pesada da indústria do alumínio na fabricação de cimento Portland. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 53, Guarujá, 2009.

4. RIBEIRO, D.V; MORELLI, M.R. Estudo da viabilidade da utilização do resíduo de bauxita como adição ao cimento Portland. In: CBECiMAT- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 18, Pernambuco, 2008.
5. AMBROISE, P.; MURAL, M.; PERA, J. Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals. IV: Experimental condition from strength improvement of metakaolinite. **Cement and Concrete Research**, v. 15, p. 83-88, 1984.
6. CHERIAF, M.; ROCHA, J.C.; PERA, J. Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1387-1391, 1999.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5752 - **Materiais pozolânicos** – Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com o cimento. Rio de Janeiro, 1992.
8. SANTOS, F. I. G. **Avaliação das propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. 2006, 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis.

EVALUATION OF RED MUD AS POZZOLANIC MATERIAL IN REPLACEMENT OF CEMENT FOR PRODUCTION OF MORTARS

ABSTRACT

Red mud is a by-product of the alkaline extraction of aluminum from the bauxite and represents a renewed environmental problem due the significant annual throughput by the plants. In the present work, the pozzolanic properties of Brazilian red mud fired at 600, 700, 800 and 900°C were investigated by monitoring lime consumption using DTA analysis and Brazilian standard methodology NBR 5772 (1992). Products and kinetics of hydration were determined in cement pastes produced with 5 and 15% red mud using x-ray diffraction and DTA analysis. Compressive strength and capillary absorption tests were realized on mortars constituted by 5, 10 and 15% red mud in replacement of cement. When calcined at 600 °C, the red mud develops good pozzolanic properties, and the compressive strength of mortars produced with this waste meet values in accordance with regulatory standard. These results shown than red mud can be used, in partial replacement of cement, as new construction material to produce sustainable mortars with low environmental impact.

Key-words: red mud, pozzolan, mortars.