



ARGAMASSA GEOPOLIMÉRICA COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO ATIVADA EM MEIO ALCALINO SÓDICO

Letícia M. Scolaro¹, Lígia Maia Siqueira¹, Amanda C. Martin², Oscar K. Bueno³ e Marilena V. Folgueras¹

1 - Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Joinville, SC, Brasil

2 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Eixo de Gestão e Negócios, campus Santo August, RS, Brasil

*2 - Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de tecnologia industrial, São Bento do Sul, SC, Brasil
leticiamscolaro@gmail.com*

RESUMO

Os materiais cimentícios são produtos de grande consumo no mundo. São produzidos, em geral, pela combinação de cimento Portland, agregados e água. A relação que existe entre a produção do cimento Portland e a liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono para atmosfera, impulsionaram o desenvolvimento de produtos alternativos que possam substituir o cimento Portland com o mesmo desempenho, ou em alguns casos, com ganhos significativos. Os ligantes geopoliméricos podem ser utilizados para esta finalidade, pois os materiais utilizados na sua produção têm menor efeito sobre o balanço de emissão de CO₂ para a atmosfera. Os geopolímeros são materiais produzidos pela ativação alcalina de aluminossilicatos pelo processo de geopolimerização. Seu apelo ecológico também pode ser associado à possibilidade de utilização de matérias primas alternativas na sua produção, como é o caso dos resíduos sólidos industriais ricos em sílica e alumina. Neste trabalho foram produzidas argamassas geopoliméricas alterando a molaridade do NaOH e a quantidade de silicato de sódio em relação ao NaOH. Escolhida a melhor composição, foi adicionado de areia descartada de fundição em diferentes proporções. As amostras produzidas foram analisadas após 7 dias de cura em temperatura ambiente, através das análises de resistência à compressão, densidade aparente, porosidade e absorção de água. Os resultados obtidos mostraram que o aumento na quantidade de silicato de sódio em relação ao NaOH faz com as propriedades sejam melhoradas, enquanto o aumento das proporções de areia descartada de fundição ocasionou em decréscimo da resistência à compressão. Entretanto, mesmo com a diminuição na resistência à compressão ainda pode-se concluir que a utilização de areia descartada de fundição em geopolímeros é viável, pois mesmo com maiores proporções de resíduo, a resistência à compressão continua com valores utilizáveis na construção civil.

Palavras-chave: *Geopolímero, hidróxido de sódio, metacaulim, ativação alcalina, areia descartada de fundição*

INTRODUÇÃO

O cimento Portland, utilizado para fabricação do concreto, é um dos materiais mais utilizados na construção civil, no entanto, durante a produção do clínquer, principal matéria-prima do cimento, há liberação de diversos gases, principalmente o CO₂.

O concreto possui excelentes resultados de resistência e durabilidade, é utilizado na construção de pequenas a grandes edificações. Pelas suas inquestionáveis qualidades, a humanidade aceitou a desvantagem ambiental ao longo de muitos anos. No entanto, com o crescimento das atividades de construção, a balança ambiental não está mais em equilíbrio e precisa ser replanejada⁽¹⁾.

Outra situação que gera preocupação na parte ambiental é a poluição causada pelos resíduos sólidos industriais, pois são produzidos em larga escala. Diversos tipos de resíduos industriais necessitam de controle para possíveis correções, entre eles, está a areia descartada de fundição, que representa um dos resíduos sólidos com maior volume de produção neste setor⁽²⁾. Os resíduos industriais que são reciclados e/ou aplicados na produção de um novo produto ainda são poucos, assim, pesquisas sobre o aproveitamento dos resíduos são de grande importância^(3,4). Um novo ligante que possui alto potencial para substituir o cimento é o geopolímero, amplamente estudado nas últimas décadas. Os geopolímeros são sintetizados pela ativação química de um pó de aluminossilicato por uma solução aquosa altamente alcalina⁽⁵⁾. Como resultado, os produtos finais são compostos que consistem na matriz amorfa geopolimérica e precursores não reagidos que não contribuem para a resistência mecânica⁽⁶⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

As composições sem adição de resíduo foram produzidas considerando a relação de 1/1 para sólido/líquido, onde o sólido é o metacaulim e o líquido é a solução alcalina. Os percentuais de NaOH e Na₂SiO₃ utilizados estão representados na Tabela 1, onde estão representadas também as concentrações molares da solução de NaOH.

A solução alcalina foi preparada com o auxílio de um agitador magnético. As micropérolas de hidróxido de sódio foram dissolvidas em água destilada à temperatura ambiente e a mesma permaneceu em repouso por 24 horas, uma vez que a reação é exotérmica. O silicato de sódio foi adicionado junto à solução preparada anteriormente. Para a preparação da pasta, a solução aquosa foi adicionada gradualmente aos itens secos e após uma breve homogeneização manual, a pasta foi colocada em um agitador mecânico por aproximadamente 60 segundos. A mistura foi colocada em moldes cilíndricos fabricados em PVC (Policloreto de vinila) de 25,0 mm x 50,0 mm untados com vaselina. Para reduzir o número de vazios, as amostras foram adensadas por aproximadamente 20 segundos. Os corpos de prova foram curados por sete dias em temperatura ambiente para a realização dos ensaios. A temperatura ambiente foi estabelecida em 25 ± 5 °C.

Foram fabricados cinco corpos de prova para cada composição, sendo que três foram utilizados para o ensaio de resistência à compressão e os demais para os ensaios de densidade, absorção de água e porosidade aparente.

Escolhida a composição para prosseguir com o trabalho, foram adicionadas as areias descartadas de fundição em diferentes proporções.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados através de uma prensa hidráulica da marca EMIC e modelo PC 220 I, com os parâmetros de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019). Os ensaios de densidade aparente (DA), porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA) foram feitos a partir da imersão do corpo de prova em água por 24 horas, pesando-os úmidos (mu), imersos (mi) e secos (ms) em estufa a 100°C por 24 horas. A balança utilizada é da marca Gehaka - DSL910 e atua por princípio de Arquimedes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A alteração das molaridades e das proporções de NaOH/Na₂SiO₃ resultou em mudanças no comportamento dos materiais no processo de geopolimerização, observou-se uma mudança significativa na trabalhabilidade do material. A trabalhabilidade das misturas diminui com o aumento no teor de silicato de sódio, isso ocorre devido ao silicato de sódio ser mais viscoso do que o hidróxido de sódio⁽⁷⁾.

Os resultados de resistência à compressão (Tabela 1) permitem afirmar que para um valor de molaridade fixo a resistência à compressão aumenta proporcionalmente com a quantidade de NaOH. A exceção está relacionada ao uso de elevadas molaridades de NaOH. Esta diferença de comportamento é um indício da interação entre as variáveis de estudo.

	NaOH (mols/L)	Composição (%)			Resistência à compressão (MPa)	DA (g/cm ³)	PA (%)	AA (%)
		NaOH	Na ₂ SiO ₃	MK				
A	5	33,33	16,67	50,00	4,46 ± 0,40	1,12	54,34	48,50
B	5	25,00	25,00	50,00	28,30 ± 3,36	1,22	50,66	41,63
C	5	16,67	33,33	50,00	40,32 ± 4,17	1,32	45,35	34,40
D	7,5	33,33	16,67	50,00	12,16 ± 0,91	1,20	50,97	42,57
E	7,5	25,00	25,00	50,00	37,76 ± 2,60	1,29	47,09	36,63
F	7,5	16,67	33,33	50,00	41,14 ± 5,05	1,35	43,84	32,43
G	10	33,33	16,67	50,00	23,51 ± 1,66	1,18	45,32	38,46
H	10	25,00	25,00	50,00	35,28 ± 3,94	1,35	44,03	32,73
I	10	16,67	33,33	50,00	32,32 ± 2,90	1,40	42,13	30,17

Tabela 1: Composição e ensaios dos geopolímeros produzidos

A razão em massa de Na₂SiO₃/NaOH igual a 2,00, porém com adição de areia na composição e cinza volante servindo de precursor, já foi utilizada em outras pesquisas⁽⁸⁾. As concentrações de 3, 6 e 9 Mols/L de NaOH, apresentou a mesma tendência dos resultados encontrados neste trabalho. A resistência à compressão obtida de 3 para 6 Mols/L aumentou, e o mesmo não ocorreu de 6 para 9 Mols/L, onde a resistência mecânica passou a diminuir. Nos resultados encontrados, as amostras fabricadas com 10 Mols/L de NaOH e razão de Na₂SiO₃/NaOH igual a 2,00, a resistência à compressão também diminuiu. O NaOH utilizado em conjunto com o silicato de sódio faz com que suas funções se complementem⁽⁹⁾.

Na Tabela 1 também foram apresentadas a densidade aparente, a porosidade e a absorção de água dos materiais curados por 7 dias em temperatura ambiente. Os resultados obtidos mostraram que as amostras com maior quantidade de silicato de sódio (C, F e I), a densidade também é superior. Enquanto a absorção de água e a porosidade são inversamente proporcionais à densidade, ou seja, nas amostras com maior quantidade de silicato de sódio, a absorção de água e a porosidade são menores.

Dessa maneira, optou-se na escolha da amostra C, uma vez que, mesmo com maior porosidade e absorção de água, e menor resistência à compressão quando comparada com a amostra F, apresenta maior trabalhabilidade, o que favorece o processo de fabricação. Assim, essa composição foi utilizada para formulação das composições com adição de areia descartada de fundição.

Foram fabricadas amostras com 20, 35 e 50% de resíduo em relação aos materiais secos, obtendo os corpos de prova da Figura 1. Os materiais foram curados por 7 dias em temperatura ambiente.



Figura 1: Geopolímeros com adição de areia descartada de fundição

Na Figura 1 é possível observar que a composição com 20% de areia descartada de fundição resultou em um corpo de prova com fissuras no entorno, o que não aconteceu nas composições com 35 e 50%.

Sabendo que a relação mássica utilizada de solução alcalina para metacaulim foi de 1:1, um fator considerado importante é a trabalhabilidade. As misturas com maior quantidade de resíduo se mostraram com menor trabalhabilidade, uma vez que a quantidade de líquido em relação aos sólidos foi diminuída. Assim, a homogeneização da mistura com 50% de resíduo foi dificultada, e conseqüentemente, o processo de preenchimento dos moldes também foi impactada.

A Figura 2 mostra os resultados médios da resistência à compressão. Como esperado, a adição de resíduo resulta em redução da resistência à compressão. Entretanto, o aumento de 20 para 35 % resultou em melhoria da propriedade analisada e o aumento de 35 para 50% não obteve aumento significativo.

As amostras com 35% de resíduo possuem melhores resistências mecânicas apesar de seu maior desvio padrão. No entanto, o alto desvio padrão pode ser justificado devido aos macroporos que estão presentes no material e podem interferir no resultado de resistência à compressão.

Dessa forma, entre as composições com adição de resíduo, as amostras com 35% de areia descartada de fundição apresentaram resultados mais satisfatórios, visto que as amostras com 20% apresentaram fissuras no entorno e as misturas das amostras com 50% ficaram com baixa trabalhabilidade.

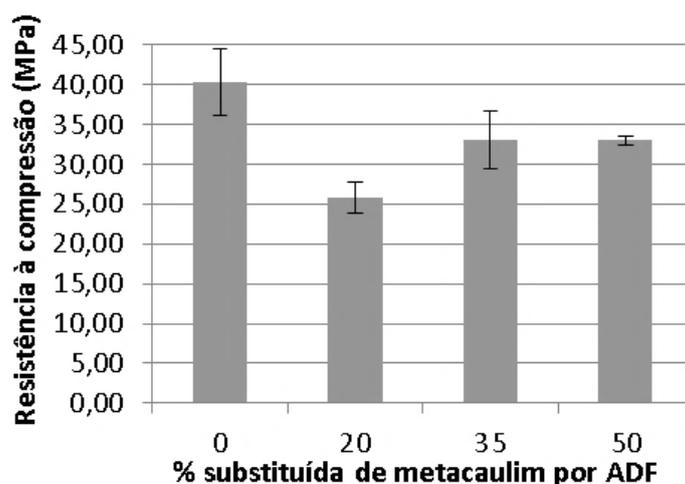


Figura 2: Resistência à compressão dos geopolímeros com areia descartada de fundição

CONCLUSÕES

A incorporação do resíduo, a areia descartada de fundição, como substituinte parcial do metacaulim resultou em uma queda na resistência mecânica de aproximadamente 17 % nas amostras com 35 e 50 % de resíduo, o que pode ser considerado um bom resultado. Assim pode-se afirmar que a utilização desse resíduo em argamassas geopoliméricas pode ser indicada como uma alternativa de destinação correta sem que o material produzido tenha perdas significativas na resistência mecânica.

A inclusão de resíduos nos geopolímeros possuem importância no ponto de vista ambiental e também financeiro, uma vez que a substituição do metacaulim por resíduo faz com que o custo para fabricação seja menor.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores são gratos pela infraestrutura do Centro Multiusuário do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (CMU/CCT/UDESC). Agradecimentos à FAPESC, pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. LIU, T.; NAFEES, A.; KHAN, S.; et al. Comparative study of mechanical properties between irradiated and regular plastic waste as a replacement of cement and fine aggregate for manufacturing of green concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, n. 0, 2021.
2. CHEGATTI, S. *Areias Descartadas de Fundição: Contexto, gerenciamento e impacto*. Curitiba: Appris editora, 2016.
3. KAMINSKAS, R.; KUBILIUTE, R.; PRIALGAUSKAITE, B. Smectite clay waste as an additive for Portland cement. *Cement and Concrete Composites*, v. 113, p. 103710, 2020.
4. AKDUMAN, Ş.; KOCAER, O.; ALDEMIR, A.; et al. Experimental investigations on the structural behaviour of reinforced geopolymer beams produced from recycled construction materials. *Journal of Building Engineering*, v. 41, n. March, 2021.
5. WILLIAMSON, T.; KATZ, L. E.; HAN, J.; et al. Relationship between aqueous chemistry and composition, structure, and solubility of sodium aluminosilicate hydrates. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 103, n. 3, p. 2160–2172, 2020.
6. HU, W.; MA, Y.; KOEHLER, M.; GONG, H.; HUANG, B. Mix design optimization and early strength prediction of unary and binary geopolymer from multiple waste streams. *Journal of Hazardous Materials*, v. 403, n. April 2020, p. 1–11, 2021.
7. SATHONSAOWAPHAK, A.; CHINDAPRASIRT, P.; PIMRAKSA, K. Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar. *Journal of Hazardous Materials*, v. 168, n. 1, p. 44–50, 2009.
8. GÖRHAN, G.; KÜRKLÜ, G. Composites : Part B The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures. *Composites*, v. 58, p. 371–377, 2014.
9. ZHANG, B.; MACKENZIE, K. J. D.; BROWN, I. W. M. Crystalline phase formation in metakaolinite geopolymers activated with NaOH and sodium silicate. *Journal of Materials Science*, v. 44, n. 17, p. 4668–4676, 2009.

GEOPOLYMERIC MORTAR USING WASTE FROM THE FOUNDRY INDUSTRY ACTIVATED IN SODIUM ALKALINE

ABSTRACT

Cementitious materials are products of great consumption in the world. They are generally produced by combining Portland cement, aggregates and water. The relationship that exists between the production of Portland cement and the release of large amounts of carbon dioxide into the atmosphere, has driven the development of alternative products that can replace Portland cement with the same performance, or in some cases, with significant gains. Geopolymeric binders can be used for this purpose, as the materials used in their production have less effect on the balance of CO₂ emissions into the atmosphere. Geopolymers are materials produced by the alkaline activation of aluminosilicates by the geopolymerization process. Its ecological appeal can also be associated with the possibility of using alternative raw materials in its production, such as industrial solid waste rich in silica and alumina. In this work, geopolymeric mortars were produced with the addition of discarded foundry sand in different proportions, changing the molarity of NaOH and the amount of sodium silicate in relation to NaOH. The specimens produced were analyzed after 7 days of curing at room temperature, through the analysis of compressive strength, apparent density, porosity and water absorption. The results obtained showed that the increase in the amount of sodium silicate in relation to NaOH improves the properties, while the increase in the proportions of discarded foundry sand caused a decrease in the compressive strength. However, even with the decrease in compressive strength, it can still be concluded that the use of discarded foundry sand in geopolymers is viable, because even with higher proportions of waste, the compressive strength remains at usable values in civil construction.

Keywords: *Geopolymer, sodium hydroxide, metakaolin, alkaline activation, discarded foundry sand*