

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE FORMULAÇÕES DE GEOPOLÍMERO COM O USO DE GRANITO COMO AGLOMERANTE ALTERNATIVO*

André De Araujo Abilio¹
Mario Lucas Santana Silva²
Angelus Giuseppe Pereira da Silva³
Dylmar Penteado Dias⁴

Resumo

Geopolímero é um material inorgânico formado por ativação alcalina durante a qual processos de polimerização de alumino-silicatos formam a cadeia polimérica que consiste em tetraedros de Si-O e Al-O. Com o intuito de encontrar subprodutos para serem usados como uma alternativa de aglomerante na formulação do geopolímero, um subproduto oriundo do processamento de rochas ornamentais foi utilizado. O presente estudo consiste na caracterização da capacidade de flexão do material geopolimérico resultante da adição do granito como aglomerante alternativo. Estudos foram elaborados de modo a avaliar ambos o efeito e a viabilidade de seu uso em formulações futuras do geopolímero.

Palavras-chave: Geopolímero; Subproduto; Granito; Resistência à flexão.

BENDING RESISTANCE ANALYSIS OF GEOPOLYMER FORMULATIONS WHICH USED GRANITE AS ALTERNATIVE AGGLOMERATE

Abstract

Geopolymer is an inorganic material formed by alkaline activation during which polymerization processes of alumino-silicates form the polymeric chain which consists in Si-O and Al-O tetrahedrons. In order to find byproducts to be used as an agglomerate alternative in the geopolymer formulation, byproducts from ornamental rocks processing were used. The present study consists in the characterization of the bending resistance of geopolymer material resulted from the addition of granite as alternative agglomerate. Analyses were done in order to evaluate both viability and effect of its use in future geopolymer formulations.

Keywords: Geopolymer material; Byproduct; Granite; Bending resistance.

¹ Técnico em Mecânica Industrial/Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Bolsista de Iniciação Científica, Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV)/CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

² Mestrado em Ciências dos Materiais, Me., Doutorando em Ciências dos Materiais, Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV)/CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Doutorado Em Ciências Técnicas, PhD., Professor Associado, Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV)/CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Doutorado em Ciência dos Materiais, D.Sc., Professor Associado, Laboratório de Engenharia Civil (LECIV)/CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Geopolímero, como descreve Davidovits [1], é um material inorgânico formado por ativação alcalina durante a qual processos de polimerização de alumino-silicatos formam a cadeia polimérica que consiste em tetraedros de Si-O e Al-O. A reação de formação da estrutura é denominada mais especificamente como geopolimerização, uma vez que, distintamente da polimerização, que é a formação de cadeias constituídas a base de carbono, a estrutura do geopolímero é baseada em silício em interação com oxigênio e alumínio. Através da disposição das ligações Al-O e Si-O na estrutura, diferentes classificações podem ser dadas ao geopolímero como polissialato, polisiloxossialato e polidisiloxossialato dependendo do número de grupos SiO_4 ligados ao grupo AlO_4 .

O presente estudo utilizou o geopolímero classificado como polidisiloxossialato, abreviadamente PSS, uma vez que a estrutura tridimensional do geopolímero formado segue o seguinte padrão: $\text{SiO}_4\text{-AlO}_4\text{-SiO}_4\text{-SiO}_4$. Mais especificamente, o presente geopolímero pode ser denominado como Ca,Na,K PSS; Ca,K,K PSS; Ca,K,Na PSS; Ca,Na,Na PSS; onde Ca, Na, K indica os metais utilizados para proporcionar a ativação alcalina necessária a iniciar o processo de geopolimerização que resultará, como descrito por Davidovits [1], na estrutura cimentícia compacta do material geopolimérico.

Devido a seu processo de formação e os reagentes envolvidos em sua estrutura, o material geopolimérico possui uma ampla gama de aplicação que vem sendo verificada ao decorrer dos anos com seus estudos de desenvolvimento. Como cita Silva [2], o geopolímero pode ser utilizado como aglomerante, como material para proteção anti-chamas e material de resistência a ataques ácidos por ser altamente inerte quimicamente; além de poder servir como material encapsulante de metais pesados e elementos radioativos; e em concordância a seu rápido endurecimento pode ser utilizado em aplicações que exijam rápida resposta de preparo, além de alcançar elevada capacidade de resistência à compressão em relativo curto tempo de cura. E devido a estes fatos, também se foi estudado sua capacidade anti-corrosiva por Silva [2] para uso como revestimento em metais. Para tanto, a caracterização do material geopolimérico se faz necessária e com esse intuito gerou a discussão para a elaboração do presente trabalho, complementando sua expectativa de aplicação.

Em adição, o presente estudo trabalhará mais especificamente com o efeito da utilização do pó de granito obtido como subproduto de rochas ornamentais produzidas do mesmo material. O granito foi utilizado de modo a substituir o aglomerante padrão prévio, a areia. Contudo, a alteração do aglomerante foi analisada para a utilização de diferentes silicatos e diferentes hidróxidos como ativadores alcalinos. Logo, o comportamento de oito tipos de formulações será analisado: duas utilizando silicato de sódio só que alternado os hidróxidos entre o de sódio e o de potássio e duas utilizando silicato de potássio, também alterando a utilização dos hidróxidos entre os de sódio e o de potássio resultando em quatro combinações. No entanto, utilizando a areia e o granito como aglomerantes para cada mistura, o número total analisado será de oito formulações. Isto sendo mantidos os demais reagentes utilizados em sua elaboração e fatores de avaliação iguais para todas as oito combinações de mistura. É importante salientar, como afirma Mauri [3], que a qualidade do geopolímero produzido é diretamente interferida pela qualidade dos reagentes, de modo que as propriedades finais obtidas variam consideravelmente em função dos ativadores alcalinos e dos precursores utilizados.

O objetivo de análise das formulações a base de granito, o subproduto de rochas ornamentais utilizado, é caracterizar a influência deste aglomerante no comportamento da resistência à flexão do geopolímero e averiguar a viabilidade da utilização do granito de modo que, se não houver nenhum prejuízo no desempenho do material geopolimérico, este possa ser utilizado e assim possa possuir uma alternativa de uso além de seu simples descarte como perda no processo da fabricação de rochas ornamentais. Deste modo, não só a influência do aglomerante pode ser avaliada, se houver, mas também a relevância ambiental pode ser observada, afinal o geopolímero se mostraria como uma alternativa ao rejeito do granito.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração das formulações analisadas, metacaulim, silicatos de sódio e de potássio, hidróxidos de sódio e de potássio e cimento Portland foram utilizados. Além da areia e do granito como elementos aglomerantes nas respectivas misturas. O metacaulim atua como fonte de alumínio e silício. Os silicatos de sódio (Na_2SiO_3) e de potássio (K_2SiO_3) possuem duas funções. Estes agem como fonte complementar de silício adequando as proporções desse elemento na mistura; e também atuam como ativador alcalino assim como os hidróxidos de sódio (NaOH) e de potássio (KOH). A utilização desses ativadores fornece os álcalis necessários à estrutura e garante o baixo valor de ph, próximo a 14, necessário ao processo de ativação e manutenção da geopolimerização.

Nessas composições silicatos e hidróxidos foram variados, utilizando-se as seguintes misturas: silicato de sódio com hidróxido de sódio; silicato de sódio com hidróxido de potássio; silicato de potássio com hidróxido de sódio; e silicato de potássio com hidróxido de potássio. E para cada uma dessas formulações variou-se o aglomerante entre areia e a alternativa de subproduto de rochas ornamentais, o granito. Tal metodologia resultou em ao todo oito formulações distintas para efetuação dos ensaios.

Os testes elaborados foram efetivados a partir de 28 dias de cura, pois, segundo Davidovits [1], a partir dessa data o processo de geopolimerização correu plenamente ou próximo a isto, de modo que as propriedades do material já foram adequadamente obtidas.

Ensaio de flexão foram efetuados e comparados com os resultados obtidos por estudos prévios com o aglomerante padrão utilizado, a areia. Todos os ensaios foram efetuados do mesmo modo para com as oito formulações variando somente os ativadores alcalinos e os aglomerantes. Todos os ensaios foram realizados em máquina de ensaios universal Instron 5582.

Para os ensaios de flexão, corpos de prova prismáticos foram curados em moldes de acrílico de dimensões de $160.00 \times 30.00 \times 20.00 \text{ mm}^3$ a temperatura e pressão ambiente e devidamente preparados para o ensaio sendo previamente medidos. De acordo com a Sociedade Americana de Testes e Materiais [4] a norma ASTM E855 foi seguida através de um ensaio de três pontos realizado a uma taxa de aplicação de carga de 0.1 mm/min e com pontos de base distados de 50 mm .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os ensaios de flexão efetuados, as cargas de resistência foram obtidas e trabalhadas matematicamente segundo a (Equação 1) para a obtenção dos valores de tensão de flexão suportada pelo material:

$$\sigma = \frac{3 \cdot Q \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \left[\frac{N \cdot mm}{mm \cdot mm^2} = \frac{N}{m^2} \cdot 10^6 = MPa \right] \quad (1)$$

Na (Equação 1), 'Q' representa a carga máxima suportada (obtida em newtons); 'l' representa a distância entre os apoios (o valor foi fixo para todos os ensaios: l = 50 mm); 'b' é o comprimento da base (mm), e 'h' representa a altura (mm), onde b < h. A Figura 1 esquematiza os resultados de flexão obtidos comparando as formulações de diferentes ativadores alcalinos em relação aos distintos aglomerantes (areia e granito) utilizados.

Em relação às formulações que utilizaram o silicato de potássio, ambas apresentaram resultados superiores de resistência à flexão quando utilizado o granito como aglomerante em relação aos valores obtidos com areia. Na formulação de silicato de potássio com hidróxido de potássio, a resistência à flexão obtida com o granito foi duas vezes maior do que a obtida com a utilização da areia. Enquanto que, para a formulação a base de silicato de potássio e hidróxido de sódio, a resistência à flexão ficou relativamente próxima, no entanto a de granito foi cerca de 28% superior à resistência com utilização de areia. Comparando a utilização de areia, para as formulações a base de silicato de potássio, o que utilizou o hidróxido de sódio teve resistência superior. No entanto, quando se utilizou granito como aglomerante para a formulação a base de silicato de potássio, a mistura que utilizou hidróxido de potássio teve resistência superior.

Quanto às formulações baseadas na utilização de silicato de sódio, estas possuem resistência à flexão entre 1.94 a 2 vezes superior àquelas em que o silicato de potássio foi utilizado. No entanto, com a adição do granito, esta resistência foi consideravelmente reduzida. Diminuindo à quase metade quando utilizado o hidróxido de potássio caindo de 4.07 MPa para 2.46 MPa; e decaindo mais de 5 vezes quando utilizado o hidróxido de sódio variando do patamar de 3.8 MPa para 0.66 MPa. No entanto, mesmo com essa diminuição na resistência a flexão obtida com o granito na formulação a base de silicato de sódio, a mistura com hidróxido de sódio ainda foi superior àquelas obtidas com silicato de potássio para ambas a utilização de granito e areia.

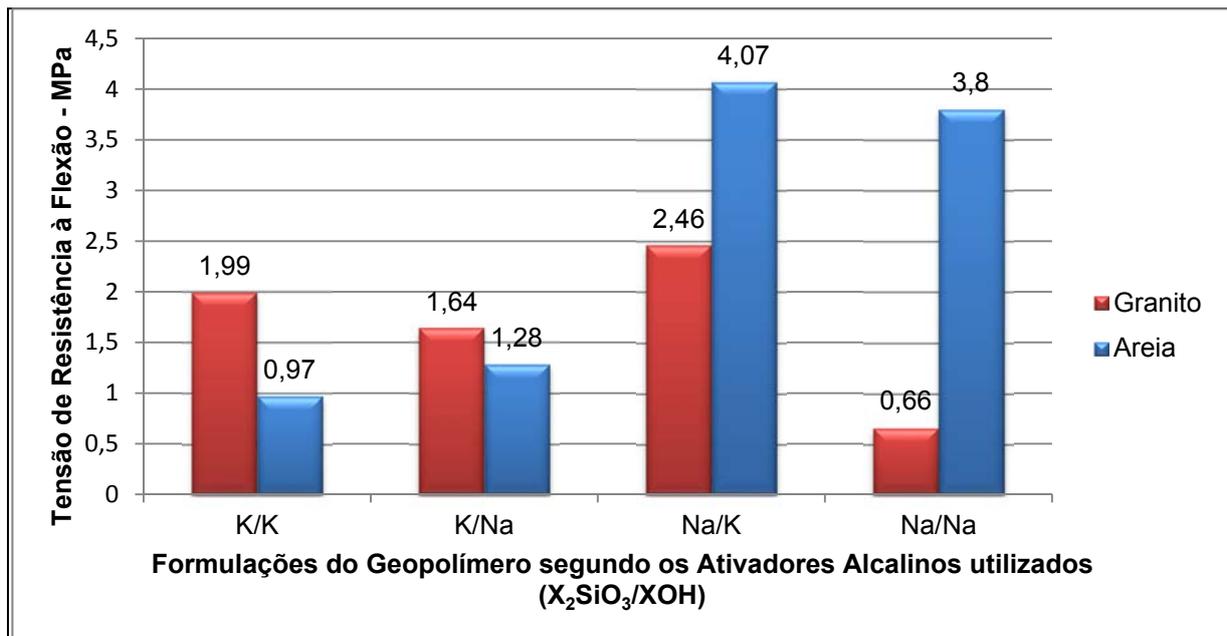


Figura 1. Ensaio de Flexão – Esquema comparativo das tensões de flexão em função do aglomerante utilizado analisado para formulações distintas.

É necessário salientar que o desempenho inferior da formulação a base de silicato de sódio com utilização de granito não era esperada. Em adição, como o estudo é recente, ainda não é possível através dos ensaios efetuados até o momento identificar a razão pela qual este decréscimo em relação à resistência à flexão ocorreu. Em relação à capacidade exotérmica do sódio como ativante alcalino, é esperado que as formulações baseadas em sua presença tenham propriedades mecânicas superiores, como observado com a presença da areia. No entanto, a diminuição observada com granito não é, até o presente, compreensível, pois não se sabe que efeito este resultou na estrutura. Se houve determinada reação inesperada de algum componente do granito com os reagentes, ou se a área de contato do granito resultou em uma aglomeração que acumulou defeitos na interface aglomerante-matrix tal como cavidades ou bolhas que assim resultaram em um maior número de defeitos ao longo do corpo de prova, deve ser averiguado. Essas são suposições que devem ser analisadas futuramente com ensaios posteriores de modo a se corrigir os resultados, caso haja erro, ou encontrar a razão pela qual esse decréscimo foi obtido.

4 CONCLUSÃO

Com o estudo elaborado pode ser concluir que a composição baseada em silicato de sódio e hidróxido de potássio a qual utilizou areia como aglomerante possui a resistência à flexão mais elevada, de 4.07 MPa, como demonstrado pela Figura 1. Em adição a este fato, as formulações baseadas em silicato de sódio foram as que possuíram a resistência a flexão mais elevada com a utilização da areia como elemento aglomerante com resistências à flexão de 4.07 MPa com a presença de hidróxido de potássio e 3.80 MPa quando utilizado hidróxido de sódio. Em contra ponto, foram as formulações a base de silicato de sódio com a utilização do granito como aglomerante que obtiveram o decaimento na resistência à flexão. Estudos posteriores devem ser elaborados para se encontrar o motivo pelo qual esse detrimento na resistência à flexão foi obtido.

Concluiu-se também que as formulações a base de silicato de potássio obtiveram os valores mais baixos para a resistência a flexão para ambas as formulações a base de areia e de granito, como pode ser verificado na Figura 1. Porém, em contra ponto às formulações baseadas em silicato de sódio, as misturas a base de silicato de potássio, as quais utilizaram granito como aglomerante, obtiveram melhores desempenhos de resistência à flexão alcançando valores de 1.99 MPa para a mistura que utilizou hidróxido de potássio e 1.64 MPa para a formulação que utilizou hidróxido de sódio.

Deste modo pode-se concluir que o uso de granito como alternativa à areia é viável nas formulações do geopolímero PSS a base de silicato de potássio, de modo que este pode estabelecer um caráter mais ambientalmente viável. No entanto, não é possível dizer que é inviável para as misturas baseadas em silicato de sódio, pois estudos posteriores precisam ser feitos para se certificar a causa do detrimento do desempenho de resistência à flexão da referida formulação.

Agradecimentos

O presente trabalho faz agradecimento ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro que serviu como órgão de fomento para o estudo realizado, 2013-2015.

REFERÊNCIAS

- 1 Davidovits, J. Geopolymer: Chemistry & Applications. 2ª Edição. França: Institut Géopolymère, junho de 2008. 584 páginas.
- 2 Silva, M. L. S. Ca,Na,K-PSS como Revestimento Anticorrosivo em Aço. 2011. f. 57-59. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes.
- 3 Mauri, J. Estudo da degradação de argamassa geopolimérica por sulfato de cálcio, de sódio e de magnésio. Dissertação (Mestrado) – LECIV/ UENF. 131p. 2008.
- 4 American Society for Testing and Materials. ASTM E855: Standard Test Methods for Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications Involving Static Loading. (2013).