

Estudo preliminar da síntese de geopolímeros baseados em metacaulim, cinzas volantes e filito da Região Sudeste do Pará

Este trabalho apresenta um estudo preliminar da síntese de geopolímeros com matérias primas e coprodutos provenientes da região Sul e Sudeste do Pará, no qual foram definidas 4 formulações para avaliação da resistência mecânica através de ensaios de resistência à compressão. Os insumos inicialmente escolhidos foram: metacaulim, filito, cinza volante e escória de aciaria; estes dois últimos sendo coprodutos industriais. Na confecção das formulações preliminares foi utilizado como ativador alcalino a solução de NaOH 12M, bem como o silicato de sódio (Na₂SiO₃) como solução aditivadora. Entre as amostras ensaiadas, duas formulações obtiveram resistência à compressão da ordem de 20,5 e 21 MPa, com respectivamente 15 e 28 dias de cura, com adição do silicato de sódio.

Palavras-chave: Geopolímero; Ativação alcalina; Metacaulim; Cinzas volantes.

Preliminary study of the synthesis of metakaolin-based geopolymers, fly ash and phyllite of the Southeast Region of Pará

This study presents a preliminary evaluation of the synthesis of geopolymers with raw materials and co-products from South and Southeast of Pará State - Brazil, in which 4 formulations for mechanical strength evaluation through compressive strength tests were defined. The inputs initially chosen were: metakaolin, phyllite, steel slag and fly ash; the latter two being industrial co-products. In the preparation of the preliminary formulations, NaOH 12M solution was used as alkaline activator, as well as sodium silicate (Na₂SiO₃) as additive solution. Among the tested samples, two formulations obtained compressive strength of 20.5 and 21 MPa, with respectively 15 and 28 curing days, with the addition of sodium silicate.

Keywords: Geopolymer; Alkaline activation; Metakaolin; Fly ash.

Topic: Engenharia Civil

Received: 05/11/2019

Approved: 10/12/2019

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Gilciene Guevara Duarte Cardoso 
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3959090222850284>
<http://orcid.org/0000-0002-3909-4337>
cardosogv@gmail.com

Renata Lilian Ribeiro Portugal Fagury 
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4758312798406543>
<http://orcid.org/0000-0002-1144-1106>
renatafagury@unifesspa.edu.br

Adriano Alves Rabelo 
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6564133385744551>
<http://orcid.org/0000-0003-3953-3149>
adriano@unifesspa.edu.br

Elias Fagury Neto 
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3004502388905443>
<http://orcid.org/0000-0003-2346-509X>
fagury@unifesspa.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2674-6425.2020.001.0007

Referencing this:

CARDOSO, G. G. D.; FAGURY, R. L. R. P.; RABELO, A. A.; FAGURY NETO, E.. Estudo preliminar da síntese de geopolímeros baseados em metacaulim, cinzas volantes e filito da Região Sudeste do Pará.

Technology Science, v.2, n.1, p.37-42, 2020. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2020.001.0007>

INTRODUÇÃO

O geopolímero é uma classe de ligante polimérico inorgânico tipicamente sintetizado via ativação alcalina de precursores de aluminossilicato (DAVIDOVITS, 1989). Este material tem atraído interesse crescente nas últimas décadas, devido ao seu potencial promissor para ser usado como um ligante alternativo ao cimento Portland comum. Embora o cimento Portland tenha sido amplamente utilizado durante séculos com desempenhos superiores de engenharia, sua produção contribui com 5% a 8% das emissões de CO₂ em todo o mundo (SCRIVENER et al., 2008). Os geopolímeros, por outro lado, são feitos principalmente a partir de subprodutos industriais ou outros materiais aluminossilicatos baratos e a produção de geopolímeros geralmente impacta menos o meio ambiente (LI et al., 2019).

Ao contrário do geopolímero, o cimento Portland que é comumente utilizado, não possui um caráter sustentável. Sendo ele responsável por grandes emissões de CO₂, gás que se acredita ser um grande intensificador do efeito estufa (ANTUNES, 2013). Segundo Torgal et al. (2005), desde 2005 iniciou-se uma nova fase de valorização ambiental, onde iniciou-se uma rejeição a materiais com alto teor de emissão de gases nocivos, como é o caso do cimento Portland, onde a cada tonelada de cimento fabricada, produz-se uma tonelada de CO₂, assim superando a emissão de gases nocivos de ligantes geopoliméricos em 7 vezes.

Segundo Davidovits (1994), geopolímeros são inorgânicos, resistentes, estáveis até 1250°C e não-inflamáveis, o que o nomeou a chave para o desenvolvimento de novos materiais, resultando no impulso à criatividade e inovação. Para Rocha et al. (2018), geopolímeros são adequados principalmente para construção civil, devido ao seu potencial para substituir derivados do cimento Portland, resultado de suas excelentes propriedades físico-mecânicas, durabilidade e aderência ao ferro e concreto comum.

A respeito do processo de geopolimerização, é necessária uma fonte de aluminossilicatos e uma solução alcalina, Palomo et al. (1999) afirmam que a ativação alcalina é o que permite a transformação de estruturas amorfas e/ou metaestáveis em compósitos compactos e com características cimentantes. Segundo Severo et al. (2013) há um mecanismo geral de ativação alcalina em materiais constituídos por sílica e alumina. O mecanismo consiste em 4 etapas: dissolução, coagulação, condensação e cristalização. A primeira etapa ocorre com a quebra das ligações covalentes Si-O-Si e Al-O-Si, devido ao pH elevado da solução alcalina; após a quebra das ligações há formação de uma dispersão coloidal. Posteriormente, há o acúmulo de produtos da quebra das ligações que interagem entre si, formando uma estrutura coagulada. A terceira fase conduz a geração de uma estrutura condensada e, por fim, com influência do tempo e temperatura, inicia-se a etapa de cristalização. O processo de geopolimerização é demonstrado na Figura 1.

Em relação a acréscimo de Na₂SiO₃ (silicato de sódio), o mesmo influencia de forma positiva o processo de polimerização, pois a sílica reage com a alumina livre na solução, e dessa forma origina um produto com maior presença de Si e mais resistente. Como Pinto (2004) relata, a ativação alcalina do metacaulim com Na₂SiO₃ pode resultar em um aumento de resistência mecânica na compressão e flexão em, respectivamente 30 a 60 MPa e 5 a 7 MPa.

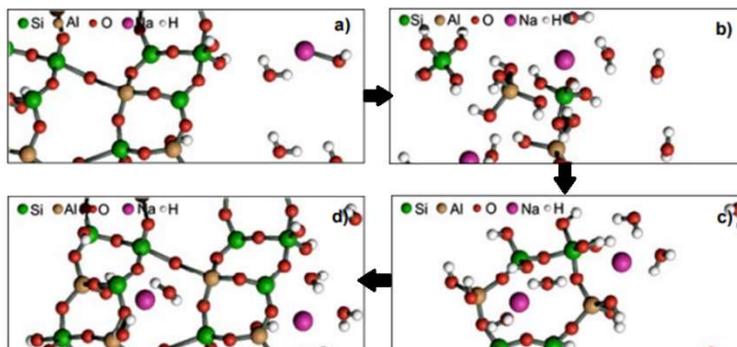


Figura 1: Mecanismo geral de ativação alcalina em aluminossilicatos.

Fonte: Adaptado de Severo et al. (2013).

METODOLOGIA

Inicialmente, foram definidas as matérias primas a serem utilizadas no projeto. O metacaulim foi produzido a partir da calcinação do caulim processado (Ymeris, Brasil). O filito utilizado foi proveniente da região de Marabá/PA; a cinza volante, material fonte mais comum de sílica, foi proveniente de uma olaria local, que foi resultante da queima de madeira para geração de calor. A escória de forno panela foi obtida de uma siderúrgica local. É importante ressaltar que o filito e o caulim passaram por tratamentos térmicos a 700 °C durante 4 horas. A calcinação do caulim resultou em metacaulim, o qual apresenta propriedades pozolânicas.

Metacaulim, filito e escória passaram por um processamento prévio de moagem, para alcançar a granulometria adequada para peneiramento em uma peneira de 200 mesh Tyler (74 µm). A solução ativadora utilizada foi de NaOH 12 M (C.R.Q). Para o preparo de cada formulação da 1ª etapa foram utilizadas apenas as matérias primas e a solução ativadora (90 ml para 140 g de matéria-prima) e na 2ª etapa foram utilizados os mesmos constituintes da etapa 1, com adição da solução de Na₂SiO₃; os componentes de ambas as etapas foram misturados manualmente, até apresentarem o aspecto homogêneo. Foram definidas 4 formulações que foram utilizadas para a primeira etapa e dessas quatro formulações apenas duas foram utilizadas na segunda etapa, para realizar a síntese de geopolímeros, como demonstra a Tabela 1:

Tabela 1: Formulações para a síntese de geopolímeros.

	Filito (%)	Escória (%)	MK (%)	FA (%)
I	X	X	50	50
II	25	X	37,5	37,5
III	X	25	37,5	37,5
IV	12,5	12,5	37,5	37,5

Para a segunda etapa foram repetidas as formulações descritas na Tabela 1 com o acréscimo de Na₂SiO₃ (silicato de sódio) inicialmente numa proporção de 30% da quantidade de NaOH necessário para 140 g de matéria-prima, ou seja 27 ml. Em seguida, as misturas foram colocadas em moldes de PVC, de 4 cm de altura e 2 cm de diâmetro, conforme demonstram as Figuras 2 e 3, para adquirir uma conformação adequada para o ensaio de compressão. Este procedimento está de acordo com a norma NBR 5739.



Figura 2: Conformação dos corpos de prova.

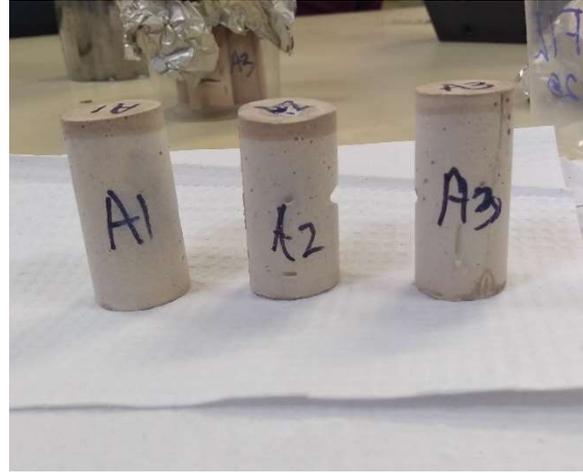


Figura 3: Corpos de prova conformados da formulação (Etapa 2) no tempo de cura de 28 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o preparo do geopolímero percebeu-se bastante resistência à dissolução da matéria-prima em relação a adição de solução de NaOH: à medida que foi sendo adicionado mais solução ativadora, a matéria-prima dissolveu-se com maior facilidade até apresentar um aspecto condensado, como mostra a Figura 4; já em misturas com N_2SiO_3 , o aspecto apresentado foi mais coeso e homogêneo ao contrário de misturas sem N_2SiO_3 , como mostra a Figura 5.



Figura 4: Mistura homogênea para formação do geopolímero (Formulação III).

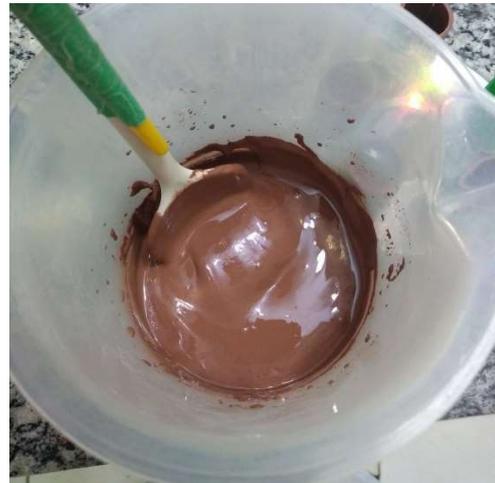


Figura 5: Mistura homogênea 2ª etapa (FII).

Inicialmente, o objetivo foi avaliar a adequação das matérias-primas à confecção de geopolímeros se utilizando uma solução ativadora alcalina. Os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova de geopolímeros da 1ª etapa mostraram que as formulações sem adição de escória de aciaria (I e II) apresentaram melhores desempenhos, apesar das falhas na conformação dos corpos de prova, que apresentaram fissuras e bolhas de ar, assim afetando seu desempenho. Este fato pode ser devido à melhor dissolução das estruturas dos aluminossilicatos presentes no metacaulim, cinza e filito, e uma maior dificuldade de dissolução dos componentes presentes na escória, que é um coproduto de composição muito complexa, podendo conter por exemplo óxidos de cálcio, ferro, zinco, entre outros (FREITAS, 2018).

Tabela 2: Resultados de resistência à compressão das formulações de geopolímeros, em função da idade de cura (Etapa 1).

Formulação I (MPa)			Formulação II (MPa)		
7 dias	15 dias	28 dias	7 dias	15 dias	28 dias
5,51	10,43	11,82	4,34	9,34	13,12
Formulação III (MPa)			Formulação IV (MPa)		
7 dias	15 dias	28 dias	7 dias	15 dias	28 dias
9,38	9,03	10,91	5,85	4,54	7,31

Na segunda etapa foram utilizadas as formulações I e II com acréscimo de 30% de Na_2SiO_3 , sendo obtido respectivamente os seguintes resultados dos ensaios de compressão.

Tabela 3: Resultados de resistência à compressão das formulações de geopolímeros, em função da idade de cura (Etapa 2).

Formulação I (MPa)			Formulação II (MPa)		
7 dias	15 dias	28 dias	7 dias	15 dias	28 dias
7,33	10,33	13,33	11,33	20,5	21

Percebeu-se, com a adição do silicato de sódio, que se obteve um aumento de resistência à compressão de acordo com o aumento do tempo de cura e comparando os resultados da formulação I e II da 1ª e 2ª etapa (com a adição de Na_2SiO_3) obteve-se um aumento na resistência a compressão. Nas Figuras 6 e 7, estão representados o ensaio de compressão e o aspecto do corpo de prova depois de ensaiado.

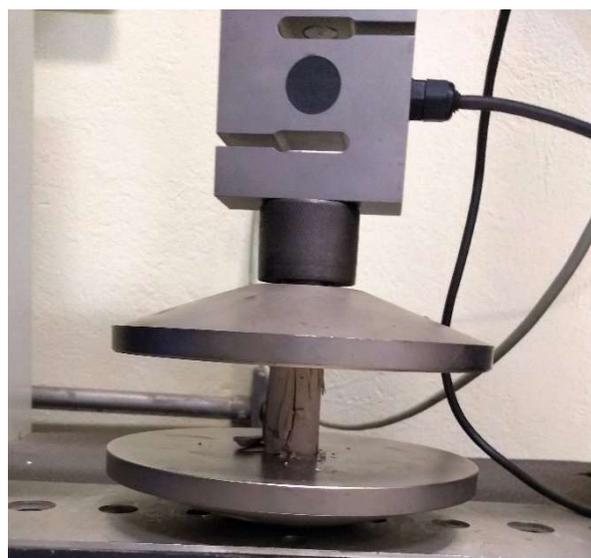


Figura 6: Ensaio da formulação I (Etapa 1) ensaio (tempo de cura: 7 dias).

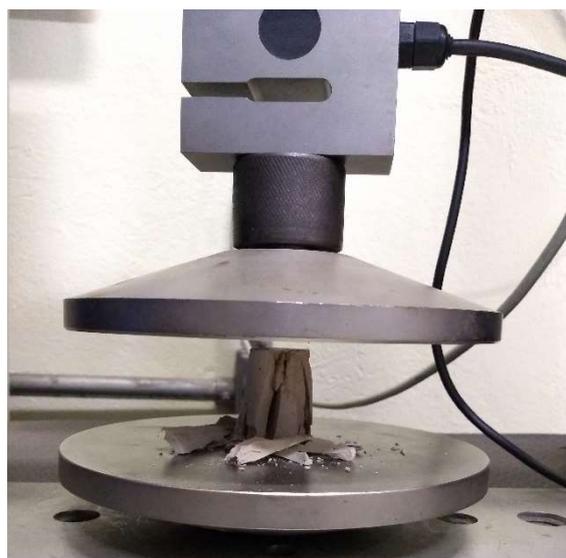


Figura 7: Aspecto da formulação I (Etapa 1) após (tempo de cura: 7 dias).

Os resultados indicam que estes materiais chegaram a uma resistência mecânica próxima ao cimento Portland que, segundo Bauer (2000), possui uma resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias. Logo, os materiais obtidos nesta pesquisa podem ser empregados como substitutos de materiais à base de cimento Portland, em aplicações que não requeiram elevada sollicitação mecânica, como por exemplo em reparos de fachadas azulejadas, fissuras em paredes de alvenaria, etc..

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos foi possível averiguar que o geopolímero possui capacidade de substituir

o cimento Portland em funções não estruturais, devido ao sucesso de sintetização a partir de matérias-primas oriundas do Sudeste do Pará, apresentando potencial para desenvolvimento de formulações maior resistência mecânica. Dentre as formulações da etapa 1, as que continham escória de aciaria demonstraram uma menor resistência mecânica em relação às demais. A segunda etapa, que possui como característica a adição de solução aditivadora de Na_2SiO_3 , foi iniciada com as formulações I e II, que em seus primeiros ensaios de compressão já apresentaram uma melhoria na resistência mecânica em relação às mesmas formulações da etapa anterior, assim apresentado resultados da ordem de 20,5 e 21 MPa, nas respectivas idades de 15 e 28 dias de cura, da formulação II. No entanto, é importante ressaltar que os resultados obtidos podem ter sido afetados por falha na consolidação das amostras, pois as mesmas apresentavam bolhas de ar e fissuras.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, E.. **Obtenção de Geopolímero a partir de metacaulim ativado**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

DAVIDOVITS, J.. Geopolymer and geopolymeric materials. **J. Therm. Anal.**, v.35, p.429-441, 1989.

DAVIDOVITS, J.. Geopolymers: Man- made rock geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement. **Journal of Materials Education**, v.16, n.2/3, p.91-139, 1994.

FREITAS, S. M. A. C.. **Escória de Aciaria**: Caminhos para uma Gestão Sustentável. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

LI, Z.; ZHANG, S.; ZUO, Y.; CHEN, W.; YE, G.. Chemical deformation of metakaolin based geopolymer. **Cement and Concrete Research**, v.20, p.108-118, 2019.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.017>

PALOMO, A. M. W.; GRUTZECK, M. W.; BLANCO, M. T.. Alkali-activated fly ashes: A cement for future. **Cem. Concr. Res.**, v.29, n.8, p.1323-1329, 1999.

DOI: [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00243-9](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9)

PINTO, A. T.. **Sistemas ligantes obtidos por ativação alcalina de metacaulino**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, 2004.

ROCHA, T. S.; DIAS, D. P.; FRANÇA, F. C. C.; GUERRA, R. R. S.; MARQUES, L. R. C. O.. Metakaolin-based geopolymer mortars with different alkaline activators (Na + and K +). **Construction and Building Materials**, v.178, p.453-461, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.172>

SCRIVENER, K. L.; KIRKPATRICK, R. J.. Innovation in use and research on cementitious material. **Cem. Concr. Res.**, v.38, p.128-136, 2008.
DOI: <http://doi.org.10.1016/j.cemconres.2007.09.025>

SEVERO, C. G. S.; COSTA, D. L.; BEZERRA, I. M. T.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.. Características, particularidades e princípios científicos dos materiais ativados alcalinamente. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.8, n.2, p.55-67, 2013.

TORGAL, F. P.; CASTRO-GOMES, J. P.; JALALI, S.. **Cimento Portland Normal Versus Ligantes Geopoliméricos**: Considerações Econômicas Sobre as Implicações do Mercado do Carbono no Custo dos Betões. Lisboa: Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2005.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sapientiae Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.