

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO SÍLICA SOLÚVEL NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PASTAS GEOPOLIMÉRICAS BASEADAS EM METACAULIM¹

FOSCARINI, L. F., IMED Faculdade Meridional: luisffoscarini@gmail.com; BONSEMBIANTE, F. T., IMED Faculdade Meridional, email: francieli.bonsembiante@imed.edu.br

ABSTRACT

Even though Portland cement is still the main binding agent used by civil construction, the search for new agglomerates has increased. This increase is mainly due to the need for materials with higher technical properties and, mainly, with a lower environmental impact of production. Among the main alternative bonding agents surveyed are geopolymers. Geopolymers are binding agents based on the activation of an amorphous mineral, rich in aluminosilicate (precursor), with a highly alkaline solution (activator). However, in order for these materials to compete commercially with Portland cement, they must have superior technical characteristics. Therefore, in order to obtain high performance of geopolymer materials, the influence of the presence of soluble silicates on the activation solution in the initial mechanical resistance of geopolymer slates was evaluated. The geopolymers were dosed by activating the metacaulim (precursor) with solutions of sodium hydroxide and water, and with combined solutions of alkali sodium silicate, sodium hydroxide and water. Subsequently, the compression strength test was performed. It was found that, among the geopolymer slurries evaluated, those with a higher amount of soluble silica had higher mechanical strengths. In addition, the samples containing sodium silicate in the mixture showed high workability which may have influenced the different mechanical strengths encountered.

Keywords: Geopolymers. Compressive strength. Workability.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o cimento Portland é o aglomerante mais usado mundialmente pela construção civil. Estimasse que sejam consumidas aproximadamente 3,4 bilhões de toneladas por ano (COSTA *et al.*, 2013; LOTHENBACH; WINNEFELD, 2005). No entanto, em países da Europa, como Itália, França e Alemanha, foram gastos mais de 75 bilhões de Euros com reparos e manutenções de estruturas de concreto. Este valor equivale ao valor investido na construção de novas edificações (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011). Grande parte destes problemas estão relacionados com as características técnicas do cimento Portland, principalmente as que envolvem durabilidade.

Devido ao aumento de manifestações patológicas em estruturas a base de cimento Portland, pesquisas relacionadas a novos materiais aglomerantes para utilização na construção civil estão sendo desenvolvidas. Neste contexto, os geopolímeros surgem como materiais aglomerantes alternativos ao cimento Portland. Este ligante é baseado na mistura de um material aluminossilicato amorfo (precursor) com uma substância altamente alcalina

¹ FOSCARINI, L. F., BONSEMBIANTE, F. T. Influência da adição sílica solúvel na resistência à compressão de pastas geopoliméricas baseadas em metacaulim. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

(ativador). De acordo com Duxson, Lukey e Van Deventer (2007), estes materiais podem apresentar características técnicas equivalentes ou superiores às do cimento Portland. Entre estas características estão: Resistência mecânica elevada, resistência a altas temperaturas, resistência a ataque químico, não sujeito a reação álcali-agregado.

Além das vantagens técnicas destes aglomerantes, outro ponto positivo é a baixa demanda energética necessária para sua produção. Nesta pesquisa será utilizado como material precursor o metacaulim. Este material é obtido através da calcinação do caulim. Para a calcinação deste material são necessárias temperaturas de aproximadamente 750°C (LONGHI, 2015; SANTA, 2016; VASSALO, 2013). Esta demanda energética é muito menor que a necessária para produção do cimento Portland, onde, de acordo com Costa *et al.* (2013) as temperaturas podem atingir 1450°C, o que torna o geopolímero um aglomerante mais amigável ecologicamente.

No entanto, para que estes materiais possam competir comercialmente com o cimento Portland, devem ser tecnicamente superiores ao aglomerante convencional. Para isso é necessário estabelecer teores de dosagem que possibilitem a obtenção de materiais de elevado desempenho (DUXSON *et al.*, 2007; DUXSON; LUKEY; VAN DEVENTER, 2007). Por isso, com o objetivo de obter geopolímeros com elevadas resistências mecânicas, avaliou-se a influência da adição de sílica dissolvida junto à solução de ativação na resistência mecânica de geopolímeros baseados em metacaulim.

2 PROGAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

O precursor utilizado na confecção do geopolímero foi o Metacaulim tipo HP/Ultra, produzido pela empresa METACAULIM DO BRASIL, localizada no estado do Pará. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as características físicas e químicas do metacaulim utilizado, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 1 – Composição química do precursor

Propriedades Físico-Químicas	Valores Típicos	Valores Limites (NBR15.894)
SiO ₂	57%	44% a 65%
Al ₂ O ₃	34%	32% a 46%
CaO + MgO	< 0,1%	< 1,5%
SO ₃	< 0,1%	< 1%
Na ₂ O	< 0,1%	< 0,5%
Eq. Alcalino Na ₂ O	< 0,1%	< 1,5%
Fe ₂ O ₃	2%	-
TiO ₂	1,50%	-
Umidade	0,50%	< 2%
Perda ao Fogo	3%	< 4%
Resíduo #325	6%	< 10%
Desempenho com Cimento (7 Dias)	115%	> 105%
Atividade Pozolânica Chapelle	800 mg Ca(OH) ₂ /g	> 705 mg Ca(OH) ₂ /g
Área Específica BET	230.000 cm ₂ /g	150.000 cm ₂ /g
Massa Específica	2,56 kg/dm ₃	-

Fonte: Metacaulim do Brasil (2018)

Como ativador utilizou-se hidróxido de sódio da marca (SODABEL), em escamas, com concentração de 99%, produzido pela empresa Buschle & Lepper. Também foi empregada uma solução de silicato de sódio com concentração de 53% H₂O, 15% Na₂O e 32% SiO₂, fabricada pela empresa NILLA Comércio de Produtos, localizada na cidade de Porto Alegre/RS.

2.2 Dosagem

Foram moldados corpos de prova a partir de duas concentrações de ativação, que são apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 2. As nomenclaturas para cada traço foram determinadas de acordo com o teor de ativação utilizado. A sigla "Geo" indica geopolímero, seguido da percentagem (%) de álcalis e em seguida é apresentado o módulo "Ms" que indica a relação (SiO₂/Na₂O) utilizado para a ativação do metacaulim.

Tabela 2 – Relações de ativação utilizadas

Nome	% Álcalis	Módulo MS	Água/Sólidos
Geo 20	20	0	0,45
Geo20-1	20	1	0,45

Fonte: Elaborado pelos autores

O Geo 20 foi ativado quimicamente utilizando apenas hidróxido de sódio. Já o Geo 20-1 foi ativado utilizando uma combinação entre silicato de sódio alcalino e hidróxido de sódio. A partir da concentração química do metacaulim e das concentrações de ativação propostas, os materiais foram

dosados, resultando nas quantidades apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.3**.

Tabela 3 – Quantidades de materiais utilizados em cada dosagem

Nome	Metacaulim (g)	Silicato de Sódio (g)	Hidróxido de Sódio (g)
Geo 20	100	0	25,81
Geo 20-1	100	59,40	14,30

Fonte: Elaborado pelos autores

2.3 Cura

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à cura térmica úmida, sendo empregada uma temperatura de 50°C por 7 dias. Para realizar esta etapa do processo, foi utilizada uma estufa com capacidade de aquecimento de 300°C, da marca DeLeo.

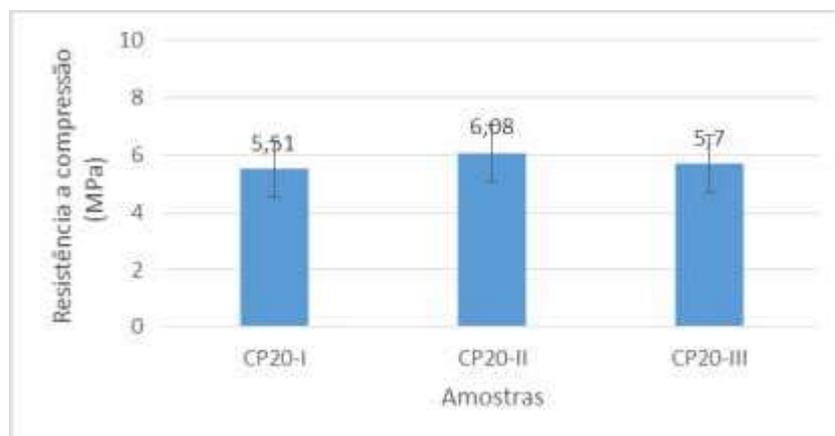
2.4 Ensaio de Resistência à Compressão

Depois de submetidos à cura térmica durante 7 dias, os corpos de prova de 2,54cm de diâmetro por 5,08cm de altura que continham as pastas geopoliméricas foram submetidos ao ensaio para avaliação da resistência à compressão, seguindo as prescrições da norma ABNT NBR 5739/2007. A prensa utilizada para o ensaio foi a PC 200C da marca EMIC com capacidade de 2000 kN e precisão de aproximadamente 1% da carga aplicada.

3 RESULTADOS

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** mostra a resistência a compressão do traço Geo 20, dosado com 20% de hidróxido de sódio, sem a adição de silicatos solúveis.

Figura 1 – Resistência a compressão dos corpos de prova com 20% de álcalis

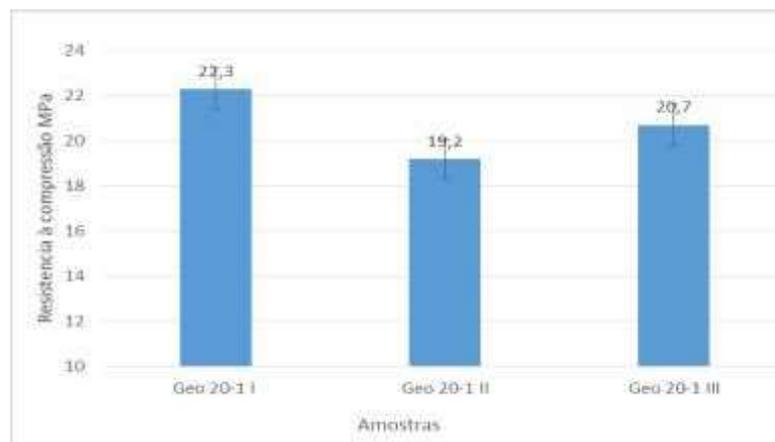


Fonte: Elaborado pelos autores

É possível verificar que as resistências das amostras Geo 20 variaram entre 5 a 6 MPa. Como a quantidade de água foi mantida constante não é possível

determinar se houve influência do teor de água na resistência das amostras. No entanto, o excesso de água na mistura pode ter causado uma redução do poder de ativação da solução. Esta perda acontece pela redução do pH da solução de ativação, que dificulta a dissolução do precursor para fase aquosa. Devido a isso, o metacaulim pode não ter sido ativado completamente, formando um material poroso e pouco resistente (GARTNER; MACPHEE, 2011). Para a segunda parte dos ensaios foram avaliadas as amostras com a adição de silicato solúvel. A figura 2 mostra as resistências encontradas.

Figura 2 – Resistência a compressão dos corpos de prova com adição de sílica solúvel



Fonte: Elaborado pelos autores

Como pode ser verificado nos resultados, a adição de sílica solúvel junto à solução de ativação teve grande influência nos resultados de resistência mecânica aos 7 dias de cura. A resistência mecânica média das amostras foi de aproximadamente 20 Mpa, representando assim, um ganho de resistência de aproximadamente 14 MPa em comparação às amostras sem a adição de sílica solúvel. Este ganho de resistência em idades iniciais ocorre pela presença de sílica dissolvida no sistema, o que acelera as ligações Si-Al durante a geopolimerização. Com o aumento da quantidade de produtos de reação, o gel formado durante a geopolimerização é mais denso. Por isso o produto formado é menos poroso e com resistências mecânicas superiores se comparadas com o traço Geo 20 (BURCIAGA-DÍAZ; ESCALANTE-GARCÍA, 2012).

Além disso, a trabalhabilidade da pasta é outro fator que pode estar relacionado à diferença entre as resistências mecânicas encontradas. Nas amostras sem a adição de silicato de sódio a pasta não tinha trabalhabilidade adequada. Devido a isso, algumas amostras apresentaram falhas decorrentes da moldagem, o que pode ter influenciado na resistência a compressão do material. A figura 3 mostra uma das amostras com falha de moldagem.

Figura 3 – Falha de moldagem de uma das amostras do traço Geo 20



Fonte: Elaborado pelos autores

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que:

- A maior quantidade de sílica solúvel proveniente do ativador alcalino tem grande influência na resistência a compressão inicial dos geopolímeros por acelerar as ligações $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ durante o processo de geopolimerização;
- Nas amostras ativadas apenas com hidróxido de sódio as resistências mecânicas foram inferiores as amostras com a adição de sílica solúvel, fato que pode estar relacionado a pouca trabalhabilidade da pasta sem a adição de silicato de sódio.

Sendo assim, pode-se dizer que o emprego de metacaulim para produção de aglomerantes alternativos a partir de geopolimerização é viável. Entretanto, deve-se elaborar mais pesquisas a fim de otimizar os teores de ativação do material.

REFERÊNCIAS

BURCIAGA-DÍAZ, O.; ESCALANTE-GARCÍA, J. I. Strength and durability in acid media of alkali silicate-activated metakaolin geopolymers. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 95, n. 7, p. 2307–2313, 2012.

COSTA, E. B. *et al.* Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 75–86, 2013.

DUXSON, P. *et al.* Geopolymer technology: The current state of the art. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 9, p. 2917–2933, 2007.

DUXSON, P.; LUKEY, G. C.; VAN DEVENTER, J. S. J. Physical evolution of Na-geopolymer derived from metakaolin up to 1000 °C. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 9, p. 3044–3054, 2007.

GARTNER, E. M.; MACPHEE, D. E. Cement and Concrete Research A physico-chemical basis for novel cementitious binders. **Cement and Concrete Research**, v.

41, n. 7, p. 736–749, 2011.

LONGHI, M. A. **Álcali-Ativação De Lodo De Caulim Calcinado E Cinza Pesada Com Ativadores Convencionais E Silicato De Sódio Alternativo**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2015.

LOTENBACH, B.; WINNEFELD, F. Thermodynamic modelling of the hydration of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 2, p. 209–226, 2006.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. DE O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, p. 773–808, 2011.

METACAU LIM DO BRASIL. Composição Química. <<http://www.metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>> Acesso em 02 de abril de 2018.

SANTA, R. A. A. B. **Síntese de geopolímeros a partir de cinzas pesadas e metacaulim para avaliação das propriedades de solidificação/imobilização de resíduos tóxicos**. Tese de Doutorado, UFSC, 2016.

VASSALO, É. A. D. S. **Obtenção de geopolímero a partir de metacaulim ativado**. Dissertação de Mestrado, UFMG, 2013.