

DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PADRÃO DE ARGAMASSAS À BASE DE CINZA VOLANTE ÁLCALI-ATIVADA COM CAL VIRGEM*

Nathalia Toffoli Pandini¹
Dylmar Penteadó Dias²
Jonas Alexandre³

Resumo

O processo de ativação alcalina necessita de um precursor rico em sílica amorfa e alumina e um ativador alcalino à base de hidróxidos e/ou silicatos. Assim, o presente trabalho teve por objetivo a verificação da viabilidade da produção de argamassas à base de cinza volante álcali-ativada com cal virgem. Foi feita a caracterização química da cinza volante e da cal virgem por meio de fluorescência de raios X. A dosagem das argamassas levou em consideração a quantidade de CaO da cal virgem e de SiO₂ da cinza volante. Foram confeccionadas oito dosagens, variando-se a proporção CaO/SiO₂ de 0,25 a 2,00 a cada 0,25. Fixou-se a proporção de areia em relação ao somatório do ativador e do precursor em 3:1. A propriedade avaliada das argamassas no estado fresco foi feita por meio do ensaio *flow table*, para determinação da consistência padrão. Os resultados obtidos mostraram que o aumento da relação CaO/SiO₂ foi acompanhado por um aumento significativo da quantidade de água, devido ao processo de hidratação da cal, que provoca grande liberação de calor e, conseqüentemente, elevada evaporação. Verificou-se também que a cinza volante agiu como plastificante da mistura.

Palavras-chave: Argamassa álcali-ativada; Cal virgem; Cinza volante.

DETERMINATION OF THE STANDARD CONSISTENCY OF MORTARS BASED ON FLY ASH ALKALI-ACTIVATED BY LIME

Abstract

The process of alkaline activation needs a precursor rich in amorphous silica and alumina and also an alkaline activator based on hydroxides and/or silicates. Therefore, this work aimed to the verification of the production viability of mortars based on fly ash alkali-activated by lime. The fly ash and lime chemical characterization was done using x-ray fluorescence. The dosage of mortars considered the amount of CaO of the lime and SiO₂ of the fly ash. Eight dosages of mortars were made varying the CaO/SiO₂ ratio from 0.25 to 2.00 in each 0.25. The sand/solid (precursor + activator) ratio was settled on 3:1. The measured property of the fresh mortars was made using the flow table test to determine the standard consistency. The results showed that the increase of the CaO/SiO₂ ratio also leads to an increase of the amount of water, because of the lime hydration process, which causes an elevated heat release and, consequently, a large evaporation. Moreover, it was possible to observe that the fly ash acted as a plasticizer of the mortar.

Keywords: Alkali-activated mortar; Lime; Fly ash.

¹ Engenheira civil, graduada, mestrandia, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

² Engenheiro Civil, doutor, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Engenheiro Civil, doutor, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em materiais de construção logo vem à cabeça o cimento Portland. E não é à toa, já que o cimento é, de acordo com Calaes (2005), o segundo material mais utilizado pelo homem, ficando atrás somente da água. Apesar da larga utilização desse material, a produção do cimento Portland demanda altas quantidades de energia e liberação de grandes volumes de dióxido de carbono na atmosfera (AITCIN e MINDESS, 2011).

Tendo em vista o processo de adequação do ser humano a novas tecnologias, energias e materiais mais sustentáveis, um novo método de produção de materiais cimentícios, que não necessita de calcinação - o que reduz significativamente a emissão de CO₂ durante a produção - vem sendo estudado desde meados do século XX. Esse método é denominado ativação alcalina, que consiste em solubilizar a matéria-prima do novo cimento com um composto alcalino, como hidróxidos e/ou silicatos.

Quimicamente, os cimentos álcali-ativados devem conter um precursor e um ativador. Os precursores devem conter elevadas quantidades de sílica amorfa ou de sílica amorfa e alumina que são solubilizadas (ativadas) pelo ativador e, assim, formam os produtos que darão as características cimentantes ao material. O presente trabalho utilizou como precursor uma cinza volante, que é um subproduto da produção de energia em termelétricas pela queima de carvão mineral, pois contém grandes quantidades de sílica amorfa e alumina e como ativador foi utilizada uma cal virgem.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo a verificação da viabilidade da fabricação de uma argamassa à base de cinza volante álcali-ativada com cal virgem, que possua trabalhabilidade satisfatória para aplicação na construção civil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Caracterização dos materiais

O precursor e o ativador alcalino utilizados foram, respectivamente, uma cinza volante e uma cal virgem. As Tabelas 1 e 2 mostram as composições químicas dos materiais, obtidas por meio do ensaio de fluorescência de raios X, bem como suas respectivas densidades.

Tabela 1. Resultados do ensaio de fluorescência de raios X e densidade aparente da cal virgem.

Óxido	Percentual
CaO	98,671
SiO ₂	1,030
Fe ₂ O ₃	0,145
Er ₂ O ₃	0,044
Au ₂ O	0,044
Cr ₂ O ₃	0,041
SrO	0,025
Densidade máx.	1,20 g/cm ³
Densidade mín.	1,10 g/cm ³

Tabela 2. Resultados do ensaio de fluorescência de raios Xe densidade aparente da cinza volante

Composto	Percentual
SiO ₂	56,156
Al ₂ O ₃	29,310
K ₂ O	4,981
Fe ₂ O ₃	4,073
CaO	2,308
SO ₃	1,712
TiO ₂	1,261
ZrO ₂	0,047
MnO	0,047
V ₂ O ₅	0,043
ZnO	0,035
SrO	0,014
Y ₂ O ₃	0,012
Densidade máx.	1,17 g/cm ³
Densidade mín.	0,79 g/cm ³

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, é possível observar o elevado grau de pureza da cal virgem e as quantidades significativas de sílica e alumina (SiO₂ e Al₂O₃, respectivamente) na cinza volante, o que viabiliza a utilização desses dois materiais como, respectivamente, ativador e precursor na obtenção de um cimento álcali-ativado.

Os outros materiais componentes das argamassas álcali-ativadas foram a areia de rio, lavada e peneirada, passante na peneira de abertura 1,2mm e retida na peneira de abertura 0,6mm e água da rede de distribuição da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

2.2 Dosagem das argamassas

A partir dos resultados de caracterização dos materiais, foi feita a dosagem de oito argamassas, variando-se a quantidade de ativador (CaO) em relação à sílica (SiO₂) presente no precursor (cinza volante). A proporção CaO/SiO₂ variou de 0,25 a 2,00 a cada 0,25.

A relação sólidos:areia foi fixada em 1:3. Por sólidos deve-se entender a soma do ativador com o precursor. Com as quantidades de sólidos e de areia definidas, foram feitos ensaios *flow table* com diferentes quantidades de água, visando a determinação da consistência padrão das argamassas, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016).

Os resultados dos ensaios de *flow table* e as respectivas dosagens são mostrados na Tabela 3. Já a demanda de água de cada dosagem para se atingir a consistência padrão (255,0 ± 10,0 mm) é mostrada na Figura 1.

Tabela 3. Características das argamassas álcali-ativadas.

CaO/SiO ₂	Cinza volante (g)	Areia (g)	Cal virgem (g)	Água (g)	Proporções
0,25	278,6	835,7	33,4	195,0	1 : 3 : 0,12 : 0,70
0,50	273,7	821,1	71,2	210,0	1 : 3 : 0,26 : 0,77
0,75	268,8	806,5	108,9	235,0	1 : 3 : 0,41 : 0,87
1,00	265,1	795,3	145,8	305,0	1 : 3 : 0,55 : 1,15
1,25	260,4	781,2	182,3	365,0	1 : 3 : 0,70 : 1,40
1,50	256,0	767,9	216,3	425,0	1 : 3 : 0,85 : 1,66
1,75	251,7	755,1	249,2	495,0	1 : 3 : 0,99 : 1,97
2,00	247,4	742,3	282,1	560,0	1 : 3 : 1,14 : 2,26

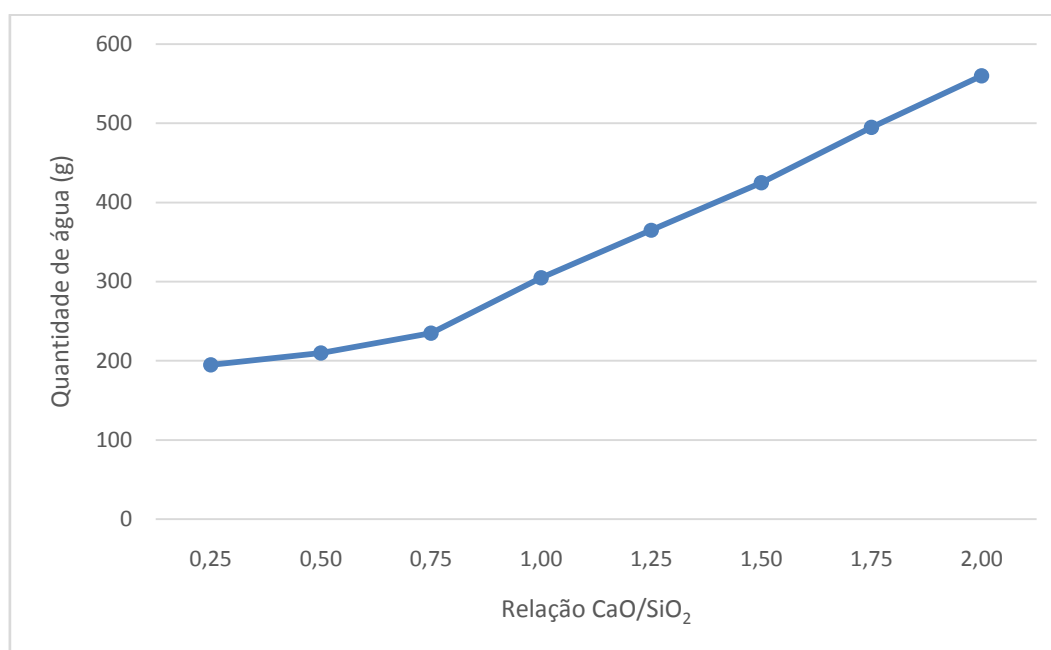
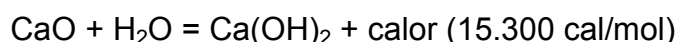


Figura 1: Demanda de água para obtenção da consistência padrão de cada argamassa no ensaio *Flow Table*

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados presentes na Tabela 3 e na Figura 1 é possível observar um aumento significativo da demanda de água com o aumento da quantidade de cal virgem na mistura. Este fenômeno é devido à retenção de água necessária para a hidratação/extinção da cal virgem, que ocasiona elevado calor de hidratação e, conseqüentemente, evaporação de parte da água do sistema.

O processo de hidratação/extinção da cal virgem é descrito pela reação:



O óxido de cálcio inicia o processo de hidratação no primeiro contato com a água, quando a cal virgem implode, e em torno de seu grão forma-se uma solução supersaturada. Há nesse primeiro momento o surgimento dos íons Ca^{2+} e $(\text{OH})^-$ na

solução. Com um número suficiente de íons, inicia-se a formação e cristalização do produto da reação, o hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Espera-se que o calor gerado pela hidratação/extinção da cal acelere e intensifique o processo de solubilização da sílica (processo da ativação alcalina), gerando argamassas com resistências mecânicas mais elevadas frente a argamassas cujos componentes sejam os mesmos, mas o ativador seja uma cal hidratada (MURTA, 2008).

Sendo a cinza volante adicionada ao sistema após 4 minutos de mistura de cal virgem à água, pôde-se ainda observar visualmente que a adição da cinza volante ao sistema fornece melhor trabalhabilidade à argamassa, atuando, portanto, como um plastificante. Esta característica é corroborada quando são comparados resultados do presente estudo com aqueles obtidos por Murta (2008) quando da ativação alcalina de metacaulim com cal virgem, em que o precursor também proporcionou uma melhor trabalhabilidade às argamassas.

A trabalhabilidade das argamassas é um parâmetro crucial no desenvolvimento de pesquisas. Uma boa trabalhabilidade garante distribuição uniforme da argamassa na fôrma e, conseqüentemente, um corpo de prova uniforme, cuja área de seção transversal será a mesma ao longo de todo o seu comprimento, garantindo assim que ensaios mecânicos não tenham o resultado influenciado negativamente por defeitos no corpo de prova. Analogamente, no campo, a trabalhabilidade adequada garante distribuição uniforme da argamassa/concreto na fôrma, garantindo a integridade das seções transversais dos elementos estruturais.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- a composição química da cinza volante indica que este subproduto da queima do carvão mineral em termelétricas é adequado para a confecção de argamassas álcali-ativadas;
- a cal virgem (ativador) possui quantidade adequada de CaO capaz de solubilizar a cinza volante (precursor) e, conseqüentemente, produzir argamassas álcali-ativadas de qualidade;
- o aumento da relação CaO/SiO_2 (aumento da proporção de cal virgem no sistema) provoca um aumento da demanda de água para se atingir a consistência padrão;
- o aumento da quantidade de cinza volante age como plastificante no sistema, melhorando a trabalhabilidade das argamassas.

Agradecimentos

ACAPES pelo apoio financeiro (bolsa de estudo). A CARBOMIL e a POZOFLY pela doação da cal virgem e da cinza volante, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276. Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Preparo da Mistura e Determinação do índice de Consistência. Rio de Janeiro; 2002.
- 2 AITCIN, P. C.; MINDESS, S. Sustainability of Concrete. USA e Canada: Spon Press, 2011

- 3 CALAES, G. D. Bases para a conciliação da produção de agregados com o desenvolvimento urbano sustentável. In: Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras de agregados para a construção civil. Gestão de Negócios. Rio de Janeiro; 2005.
- 4 GUIMARÃES, JOSÉ E. P. A Cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. 2ª Edição. – São Paulo: Pini; 2002.
- 5 MURTA, F. L. (Dissertação de Mestrado) Produção de Argamassas a Partir da Ativação Alcalina de Metacaulim e de Resíduo de Tijolo Moído por Cales Virgem e Hidratada - Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes; 2008.