EFEITO DA SÍLICA ATIVA NA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO ATRAVÉS DO MÉTODO ACELERADO EM BARRAS DE ARGAMASSAS

https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108114

CRUZ DA SILVA ARAUJO; JULIENE[1]; PEREIRA BONFIM; FRANCIRENE[2]; PEREIRA GOUVEIA; FERNANDA[3]
[1,2,3]UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ -UFPA/CAMTUC
JULLIENE.SILVA@HOTMAIL.COM[1]; FRANCY_PB@HOTMAIL.COM[2]; GOUVEIA@UFPA.BR[3]

RESUMO: Umas das manifestações patológicas recorrentes nos elementos estruturais de concreto, a exemplo das fissuras, são provenientes de reações álcali-agregado (RAA). Uma das técnicas utilizadas para minimização dessa reação química é a utilização de adições minerais. Desta forma, este estudo tem o objetivo mitigar a RAA do agregado seixo rolado com a utilização da sílica ativa com teores de 8%, 10% e 12 % em substituição parcial ao cimento Portland. A avaliação da reação álcali-agregado foi realizada através do m*étodo ac*elerado em barras de argamassas. Os resultados mostraram o teor de 8 % de sílica ativa mitigou a RAA.

PALAVRAS-CHAVES: Adição mineral, reação álcali-agregado, sílica ativa.

ABSTRACT: One of the recurrent pathological manifestations in the elements, like fissures, comes from alkali-aggregate reactions (AAR). One of the techniques used to minimize this chemical reaction is the use of mineral additions. Thus, this study aims to mitigate the AAR of the pebble aggregate with the use of silica fume with contents of 8%, 10% and 12% in partial replacement to Portland cement. The evaluation of the alkali-aggregate reaction was carried out using the accelerated method in mortar bars. The results induced the 8% silica fume content mitigated an RAA.

KEYWORDS: Mineral addition, alkali-aggregate reaction, silica fume.

1 | INTRODUÇÃO

A Reação Álcali-Agregado (RAA) é um processo químico que ocorre no concreto endurecido, no qual os minerais reativos dos agregados reagem com hidróxilos alcalinos presentes nas soluções dos poros da pasta do concreto, formando um gel higroscópico expansivo, sendo este ocasionado por diversos fatores: uso de agregado reativo ou potencialmente reativo, álcalis do cimento, presença de umidade, temperatura e o consumo elevado do cimento (OTOCH, 2016)(1). Nesse contexto, Neville (2016)(2) explica que o resultado dessa reação é a formação de um gel álcali-silicato com características expansivas, que além do aumento de volume dos agregados, ocasionam desagregação e fissuração nas pastas cimentícias.

Entre as formas para inibir ou prevenir a RAA tem-se a redução do consumo de cimento e o uso de adições minerais em substituição ao cimento Portland (OTOCH, 2016) (3). As adições minerais possuem partículas extremamente finas que quando adicionadas

ao concreto atuam na melhoria de suas propriedades, como redução da porosidade, e consequentemente na melhoria da resistência e da durabilidade (GRUBBA, 2016)[4]. Além disso, Andrade (2017)[5] ressalta que o uso de adições minerais na composição dos materiais de construção contribui na diminuição dos impactos ambientais, pois esta é uma forma de aproveitar os resíduos poluidores que são provenientes de processos industriais, a exemplo da sílica ativa, cinzas volantes, escória granulada de alto forno, metacaulim, etc.

Pesquisas mostram resultados satisfatórios quanto ao uso de adições minerais em misturas cimentícias, a exemplo dos estudos de Menéndez *et al.* (2020)[6], no qual verificaram que a produção de argamassas compostas com pozolana natural, cinza volante, sílica e escória de alto forno foram eficazes na inibição da RAA. No que se refere ao uso de sílica ativa, os estudos de Tigre *et al*.[7] mostraram que o uso de sílica ativa no teor de 8 % em barras de argamassas com areia natural apresentou menores expansões por álcali-agregado quando comparados à mistura de referência. Outras vantagens do uso da sílica ativa são aumento da resistência à compressão axial, redução da permeabilidade e diminuição do calor de hidratação (SHAHMANSOURI *et al*.; TAVARES *et al*., 2020; TAN *et al*., 2020)[8] [9] [10].

Logo, percebe-se o potencial efeito do uso das adições minerais no preparo de misturas cimentícias, pois além das vantagens no que se refere às propriedades do concreto, também apresentam um elevado ganho ambiental devido o menor consumo dos recursos naturais não renováveis e a diminuição da emissão de CO_2 ocasionada na produção do clínquer. Desta forma, esta pesquisa buscar avaliar os efeitos da sílica ativa no combate a RAA em barras de argamassas.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e Métodos

No procedimento experimental realizado em laboratório, os materiais utilizados foram: Cimento CP II F-32 da marca Nassau, Sílica Ativa (SA) proveniente da produção do ferro silício da empresa Dow localizada no munícipio de Breu Branco-PA, o seixo rolado nº 3 proveniente da jazida Nova Esperança no munícipio de Breu Branco-PA e água. A Tabela 1 apresenta as características do cimento, SA e do seixo rolado.

Ensaios	Resultado	Método
	Seixo rolado nº 3	
Diâmetro máximo (mm)	38	ABNT NBR NM 248:2003
Módulo de Finura (%)	7,71	ABNT NBR NM 248:2003
Massa específica g/cm³	2,78	ABNT NBR NM 53:2009
Absorção de água (%)	1,09	ABNT NBR NM 53:2009
Massa Unitária (g/cm³)	1,49	ABNT NBR NM 45:2006
	Cimento	

Perda ao Fogo (%)	11	ABNT NBR NM 18:2012
Material retido na peneira 45 µm (%)	1,27	ABNT NBR 15894-3:2010
Massa específica g/cm³	3,12	ABNT NBR 16605:2017
	SA	
Teor de Umidade (%)	0,57	ABNT NBR NM 24:2015
Perda ao Fogo (%)	6	ABNT NBR NM 18:2012
Material retido na peneira 45 µm (%)	26,02	ABNT NBR 15894-3:2010
Massa específica (g/cm³)	2,18	ABNT NBR 16605:2017
Atividade Pozolânica aos 7 dias (%)	111	ABNT NBR 5752:2014

Tabela 1 - Características do seixo rolado, Cimento e Sílica ativa

Fonte: Próprio Autor

A sílica ativa utilizada foi o material passante na peneira de 75 µm. A avaliação do agregado e a análise da influência da sílica ativa em substituição ao cimento quanto a RAA foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 15577:2018[11] - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. As amostras foram coletadas e preparadas de acordo a ABNT NBR 15577-2: 2018[12].

O seixo rolado foi cominuído na máquina de abrasão Los Angeles e separado em frações granulométricas padronizadas pela ABNT NBR 15577-4: 2018[13] conforme apresenta a Tabela 2.

Peneira com abertura em Malha		**Quantidade de Material em Massa**	
Passante	Retido	%	g
4,75 mm	2,36 mm	10	99
2,36 mm	1,18 mm	25	247,5
1,18 mm	600 µm	25	247,5
600 µm	300 µm	25	247,5
300 µm	150 µm	15	148,5

Tabela 2 – Frações granulométricas do seixo rolado após cominuição

Fonte: ABNT NBR 15577-4 (2018)

Foram moldadas doze barras de argamassa, sendo três barras contendo apenas cimento como aglomerante e nove barras com SA em substituição parcial ao cimento (três barras para cada um dos seguintes teores: 8%, 10% e 12 %). Após a moldagem, as barras foram submetidas à cura úmida por 24 h, e após a desmoldagem as barras foram submersas em água aquecida até 80 ºC em banho-termorregulador por 24 h.

Em seguida, as barras de argamassas foram retiradas do banho-termorregulador e

submersas em câmara térmica com solução de hidróxido de sódio (NaOH 1N) e mantidas por um período de 28 dias, e nesse período foram realizadas leituras obrigatórias nas idades de 16 dias e 30 dias contados a partir da moldagem e três leituras intermediárias em cada período. As variações de comprimento das barras de argamassas foram determinadas por meio de um relógio comparador em um equipamento constituído de uma barra padrão para verificação do comparador de comprimento. A Figura 1 apresenta o processo de execução do ensaio de RAA.



Figura 1 - Etapas execução do ensaio. a) barras no banho-termorregulador; b) barras na câmara com solução de hidróxido e c) leitura do comprimento das barras de argamassas

Fonte: Próprio Autor

A classificação da reatividade potencial do agregado foi realizada de acordo com a ABNT NBR 15577-1: 2018 [(14)] que estabelece os seguintes limites para a expansão média das barras aos 30 dias:

a) Potencialmente inócuo (grau R0) menor que 0,19 %;

b) Potencialmente reativo (grau R1) entre 0,19 e 0,40 %;

c) potencialmente reativo (grau R2) entre 0,41 e 0,60 % ;

d) potencialmente reativo (grau R3) maior que 0,60 %.

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A Figura 2 apresenta o gráfico com os resultados das expansões das barras de argamassa compostas por cimento e sílica ativa.

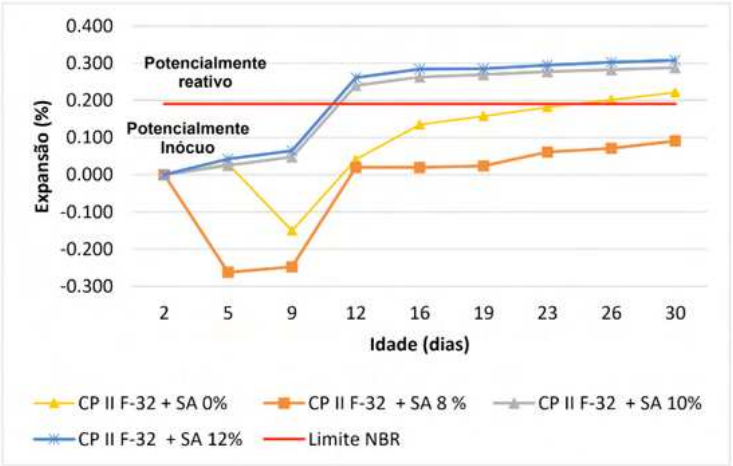

Figura 2 - Resultado das expansões por RAA

Fonte: Próprio Autor

Por meio da análise do gráfico da Figura 2 verificou-se que as barras de argamassa contendo sílica ativa no teor de 8 % auxiliaram na redução da reatividade, quando comparado com as barras de referência (sem adição), ocorrendo tal comportamento em todas as idades, sendo que até ao 12º dia as barras sofreram retração, e após essa idade ocorreu expansão, porém aos 30 dias a amostra não apresentou reatividade, classificando-se como potencialmente inócuo (grau R0). Já os teores de 10% e 12% de sílica ativa não foram eficazes no combate a reação álcali-agregado, apresentando expansão maior que a amostra de referência em praticamente todas as idades.

Nesse contexto, Ribeiro e Rey (2017)[15] explicam que a sílica ativa quando utilizada em excesso pode resultar em comportamento inverso, ou seja, o aumento da RAA, devido sua característica amorfa e consequentemente reativa, no qual pode provocar uma saturação desse material na solução intersticial dos poros da matriz cimentícia. Ainda segundo os autores, isso ocorre porque parte da sílica ativa reage com o $Ca(OH)_2$ como um material pozolânico, e a parte em excesso ficará disponível para reagir com os álcalis que não foram incorporados na estrutura do C-S-H. Desta forma, possivelmente esse foi o comportamento apresentado com o uso dos teores de 10% e 12% de SA em substituição ao cimento, que apresentaram expansões maiores que a amostra sem adição de sílica.

Costa *et al*. (2019) [16] também explica que a quantidade necessária da adição mineral para controlar a reação expansiva depende do tipo de adição utilizada, do grau de reatividade do agregado e a quantidade de álcalis presentes nos poros da matriz cimentícia. Entretanto, os resultados encontrados foram contrários aos observados por Nagrockienė *et al*. (2019) [17], no qual verificaram que conforme se aumentou o teor de sílica ativa, menor foi a expansão das barras de argamassa.

4 | CONCLUSÃO

A partir desta pesquisa verificou-se o seixo rolado sem o emprego de adição mineral apresenta-se como potencialmente reativo, tornando-se inadequado para o emprego na produção de concreto, principalmente obras de grande porte em que se utilizam o concreto massa. No que se refere às barras de argamassa contendo sílica ativa, o teor de 8 % de adição se mostrou eficaz na mitigação da reação expansiva, tornando o agregado inócuo. Porém os demais teores de 10% e 12 % apresentaram maior expansão que às amostras de referência, caracterizando-se como potencialmente reativo grau 1, comportamento não esperado. Desta forma, torna-se necessário avaliar em estudos posteriores o uso da sílica ativa, proveniente do processo de produção do ferro silício da empresa Dow, em diferentes teores combinados com outros tipos de cimento e agregados.

Ressalta-se a importância do uso de adições minerais pozolânicas na produção de concreto para evitar a formação de patologias nos elementos estruturais, a fim do aumento da segurança e durabilidade estrutural. Vale citar, que o uso de adições além da contribuição técnica de melhoria das propriedades dos materiais cimentícios, permite construções mais econômicas e sustentáveis devido à redução do consumo de cimento na mistura e os benefícios ambientais através do uso de resíduos que seriam dispostos na natureza.

REFERÊNCIAS

1. OTOCH, Sérgio. **Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?** Concreto e Construções. IBRACON. Ano XLIV 83. 2016. ISSN 1809-7197.

2. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2016.

3. OTOCH, Sérgio. **Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?** Concreto e Construções. IBRACON. Ano XLIV 83. 2016. ISSN 1809-7197.

4. GRUBBA, C. R. P. D. **Materiais de Construção: Para Gostar e Aprender.** Recurso Didático Digital. Versão 2.2 (2016).

5. ANDRADE, D. S. **Microestrutura de pastas de cimento Portland com nanossílica coloidal e adições minerais altamente reativas.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, 0004/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 319p., 2017.

6. MENÉNDEZ, E.; SANJUÁN, M. Á.; GARCÍA-ROVES, R.; ARGIZ, C.; RECINO, H. Sustainable and Durable Performance of Pozzolanic Additions to Prevent Alkali-Silica Reaction (ASR) Promoted by Aggregates with Different Reaction Rates. **Applied Sciences,** v. 10, n. 24, p. 9042, 2020.

7. TIGRE, G.; GOUVEIA, F.; GUIMARÃES, B.; FROZ, F. Avaliação de Reação Álcali-Agregado da Areia Natural do Município De Tucuruí-Pa. **Anais 15 º Congresso Internacional de Patologia e Recuperação de estruturas (CINPAR)**, 2019.

8. SHAHMANSOURI, A. A.; YAZDANI, M.; GHANBARI, S.; BENGAR, H. A.; JAFARI, A.; GHATTE, H. F. Artificial neural network model to predict the compressive strength of eco-friendly geopolymer concrete incorporating silica fume and natural zeolite. **Journal of Cleaner Production**, 279, 123697, 2020.

9. TAVARES, L. R. C.; JUNIOR, J. F. T.; COSTA, L. M.; BEZERRA, A. C. S.; CETLIN, P. R.; AGUILAR, M. T. P. Influence of quartz powder and silica fume on the performance of Portland cement. **Scientific Reports,** v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.

10. TAN, Y.; YU, H.; SUN, S.; WU, C.; DING, H. Properties and microstructure of basic magnesium sulfate cement: Influence of silica fume. **Construction and Building Materials**, v. 266, p. 121076, 2020.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1.** Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-2**. Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2018.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-4.** Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2018.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1**. Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.

15. RIBEIRO, D. V.; REY, R. O. Avaliação dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador quanto à ocorrência de Reatividade Álcalis-Agregado (RAA). **Revista ALCONPAT,** Volume 9, Número 2 (maio – agosto 2019): 185 – 199.

16. COSTA, L. C. **Avaliação da reatividade de rochas vulcânicas do Rio Grande do Sul e da utilização de finos de britagem na mitigação da reação álcali agregado**. Dissertação. Complexo de Ensino Superior Meridional. Passo fundo/RS 2019.

17. NAGROCKIENĖ, D.; RUTKAUSKAS, A.; PUNDIENĖ, I.; GIRNIENĖ, I. The Effect of Silica Fume Addition on the Resistance of Concrete to Alkali Silica Reaction. **In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 012031.