

Avaliação dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador quanto à ocorrência de Reatividade Álcalis-Agregado (RAA)

D. V. Ribeiro^{1*} , R. O. Rey¹ 

* Autor de Contato: verasribeiro@hotmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.326>

Recepção: 19/06/2018 | Aceitação: 19/02/2019 | Publicação: 30/04/2019

RESUMO

O presente artigo avaliou a RAA dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador e o uso de adições minerais, a fim de mitigar essa reação. Empregou-se o método acelerado de barras de argamassa, preconizado pela NBR 15577-4: 2008. Os resultados indicam que os agregados miúdos da região metropolitana de Salvador apresentam baixa reatividade, entretanto, os agregados graúdos apresentaram elevada reatividade e que adições minerais com características pozolânicas podem mitigar a RAA. Este estudo, apesar de se limitar às condições utilizadas, é inédito no Estado da Bahia e apresenta elevado índice de originalidade por utilizar teores de adições superiores às convencionais. Concluiu-se neste estudo que a microsílica, se utilizada em teores muito elevados, pode, inclusive, acelerar a reação.

Palavras-chave: RAA; agregados; adições minerais; mitigação.

Citar como: Ribeiro, D. V., Rey, R. O. (2019), "Avaliação dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador quanto à ocorrência de Reatividade Álcalis-Agregado (RAA)", Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 185 – 199, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.326>

¹ Universidade Federal da Bahia, Brasil

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2020, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2019.

Evaluation of the aggregates used in the metropolitan region of Salvador regarding the occurrence of alkali-aggregate reactions (AAR)

ABSTRACT

In the present work the AAR of the aggregates used in the metropolitan region of Salvador and the use of mineral additions in order to mitigate this reaction was evaluated. The accelerated test method using mortar bars, recommended by NBR 15577-4: 2008, was used. The results indicate that the sands of the metropolitan area of Salvador have low reactivity, however, the gravels presented high reactivity and that mineral additions with pozzolanic characteristics can mitigate the AAR. This study, although limited to the conditions used, is unprecedented in the State of Bahia and presents a high index of originality, since it uses higher contents of mineral additions than conventional use. It was concluded that microsilica, if used at very high contents, can even accelerate the AAR.

Keywords: AAR; aggregates; mineral additions; mitigation

Evaluación de los agregados utilizados en la región metropolitana de Salvador en cuanto a la ocurrencia de Reacción Alkali-Agregado (RAA)

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la RAA de los agregados utilizados en la región metropolitana de Salvador y el uso de adiciones minerales, a fin de mitigar esa reacción. Se utilizó el método acelerado de barras de mortero, preconizado por la NBR 15577-4: 2008. Los resultados indican que las arenas de la región metropolitana de Salvador presentan baja reactividad, sin embargo, las gravas presentaron alta reactividad y que adiciones minerales con características pozolánicas pueden mitigar la RAA. Este estudio, a pesar de limitarse a las condiciones utilizadas, es inédito en el Estado de Bahía y presenta un elevado índice de originalidad por utilizar contenidos de adiciones superiores a las convencionales. Se concluyó en este estudio que la microsílica, si se utiliza en niveles muy elevados, puede, incluso, acelerar la reacción.

Palabras clave: RAA; agregados; adiciones minerales; mitigación

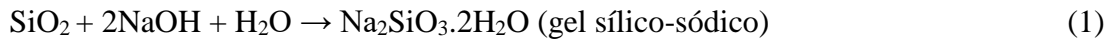
1. INTRODUÇÃO

As reações álcalis-agregado são reações químicas que ocorrem entre certos constituintes mineralógicos reativos dos agregados e os íons alcalinos e hidroxilas presentes na solução intersticial da pasta de cimento. Esta reação tem, como produto, um gel de caráter expansivo que, na presença de água, expande, acarretando no aumento das forças internas da estrutura, gerando deformações e fissuras na superfície do concreto, podendo ter um efeito altamente prejudicial, comprometendo até mesmo a vida útil da edificação (Thomas, 2011).

Atualmente é considerada a existência de três tipos deletérios da reação, em função da composição mineralógica dos agregados e dos mecanismos envolvidos. São eles: reação álcalis-sílica, reação álcalis-silicato e reação álcalis-carbonato. No presente trabalho a reação álcalis-carbonato não foi tratada com maiores detalhes por não ser motivadora da pesquisa. O termo reação álcalis-agregado (RAA) quando mencionado no texto, será referente às reações álcalis-sílica ou álcalis-silicato.

O primeiro estágio da reação álcalis-sílica (RAS) é a reação entre os íons hidroxila (OH^-) presente na solução dos poros, e a sílica reativa do agregado. Inicialmente os álcalis contribuem no aumento da concentração de íons hidroxila na solução e, em seguida, na formação do gel expansivo

(Thomas, 2011; Beyene et al., 2013). A RAS pode ser representada de forma simplificada pelas equações (1) e (2) (West, 1996 *apud* Campos, 2015).



Para que ocorra a reação álcalis-agregado são necessárias três condições: i) presença de fases reativas no agregado; ii) umidade suficiente e; iii) concentração de hidróxidos alcalinos na solução dos poros do concreto suficiente para reagir com as fases reativas dos agregados (Giordano, 2007). As matérias-primas utilizadas na manufatura do cimento Portland são, geralmente, as responsáveis pela presença de álcalis no cimento, que varia na faixa de 0,2% a 1,5% de Na₂O equivalente (Na₂O + 0,658K₂O). Como consequência da hidratação do cimento, tem-se uma solução intersticial no concreto contendo essencialmente hidróxido de sódio, cálcio e potássio. Normalmente, dependendo da quantidade de álcalis, o pH da solução nos poros varia de 12,5 a 13,5. Este pH representa um líquido fortemente alcalino no qual algumas rochas ácidas (agregados compostos de sílica e minerais siliciosos) não permanecem estáveis (Giordano, 2007). Ou seja, a presença de álcalis influencia na reatividade do agregado e na extensão da reação, uma vez que quanto mais álcalis disponíveis, maior a concentração de OH⁻ na solução dos poros e, conseqüentemente, mais sílica será dissolvida (Beyene et al., 2013).

É preciso estar atento para a ocorrência da reação álcalis-agregado, já que, uma vez formado o gel expansivo, não há maneiras de reverter o processo, apenas minimizar os seus danos. Estudos recentes (Thomas, 2011; Beyene et al., 2013) demonstram que a expansão é reduzida quando um cimento pozolânico ou adições minerais pozolânicas são utilizados e, por isso, é indicada a utilização de adições minerais pozolânicas, tais como sílica ativa e metacaulim, na mistura do concreto. Estes estudos avaliam os efeitos de adições minerais sobre a reação álcalis-agregado e observam que a utilização de uma quantidade suficiente de uma adição mineral adequada é uma das medidas mais eficientes para a prevenção da RAA, controlando a expansão quando um agregado prejudicialmente reativo é usado em concreto (Thomas, 2011).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Neste trabalho foi utilizado o cimento padrão fornecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), contendo elevados teores de álcalis e indicado para ensaios acelerados de avaliação da RAA e o cimento Portland CP V ARI-RS (equivalente ao cimento tipo V, high sulfate resistance, de acordo com a ASTM C150), constituído essencialmente por clínquer e sulfato de cálcio, comprovadamente não mitigador da reação álcalis-agregado, devido à ausência de pozolanas, permitindo avaliar adequadamente o efeito da presença das adições utilizadas (metacaulim e sílica ativa).

A areia empregada para a moldagem dos corpos de prova para análise da reatividade e análise de desempenho das argamassas, oriunda da cidade de Camaçari, foi adquirida em centros comerciais de Salvador. O agregado graúdo reativo utilizado para os ensaios de expansão com o metacaulim e a sílica ativa foi fornecido por uma pedreira de Salvador.

Utilizaram-se água deionizada para a moldagem dos corpos de prova para os ensaios de expansão da RAA e água proveniente da rede pública de abastecimento, para a moldagem dos corpos de prova para a análise de desempenho das argamassas. Foi utilizado, também, aditivo químico superplastificante a base de água.

2.2. Métodos

2.2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais foram caracterizados quanto à massa específica, utilizando a NBR 9776 (“Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman”) para a areia e a técnica de picnometria a gás hélio (AccuPyc II 1340 Micromeritics) para o metacaulim, a sílica ativa e o cimento CPV ARI-RS (equivalente ao cimento tipo V, de acordo com a ASTM C150).

A área superficial do metacaulim e da sílica foi determinada pelo método BET ou Teoria de Adsorção Multimolecular, e a do cimento foi determinada pelo método de Blaine, de acordo com a norma ABNT NBR NM 76 (ABNT, 1998).

2.2.2 Moldagem das argamassas

Para confecção dos corpos de prova utilizados na caracterização das argamassas, utilizou-se o traço mássico 1: 3 (cimento: areia) com relação água/aglomerante de 0,6, em peso, com a presença de adições minerais e aditivo superplastificante em diversos teores, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Consumo de material necessário para produção de 1m³ de argamassa com sílica ativa ou metacaulim.

Teor	Cimento (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)	Sílica Ativa ou Metacaulim (kg)	Relação água/aglomerante	Relação água/cimento
REF	485,45	1456,35	291,27	1,37	0,00	0,60	0,60
10%	436,90	1456,35	291,27	3,55	48,55	0,60	0,67
15%	412,63	1456,35	291,27	7,10	72,82	0,60	0,71
20%	388,36	1456,35	291,27	14,20	97,09	0,60	0,75

A fim de relacionar as propriedades físicas das argamassas com o seu comportamento em relação à reação álcalis-agregado e analisar a influência das adições ativas na preparação das mesmas, foram feitos ensaios de análise de desempenho das argamassas utilizadas. O estudo experimental envolveu ensaios de resistência (ABNT, 2005), capilaridade e densidade aparente por meio do Princípio de Arquimedes, para análise de desempenho das argamassas quando utilizada a adição ativa. Para tal, foram moldados 4 corpos de prova (por idade) para cada determinação.

Para estudos da RAA, foram feitos ensaios acelerados de expansão de barras de argamassa, prescritos pela norma NBR 15577/2008 Partes 4 e 5 (ABNT 2004a; ABNT 2004b), para verificação da reatividade dos agregados quanto a reação álcali-agregado e a capacidade de mitigação das adições minerais para esse tipo de reação.

2.2.3 Análise de desempenho das argamassas

a) Resistência Mecânica

Para análise de desempenho quanto à resistência mecânica, foram feitos ensaios de resistência à compressão axial e tração na flexão, com corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias, conforme NBR 13279 (ABNT, 2005).

O limite de resistência à compressão axial (R_c) é dado pela razão entre a carga máxima (P) suportada pelo corpo de prova e a área da sua secção original (A), conforme a equação (3).

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

A resistência à tração na flexão (R_{TF}) é determinada por meio da equação (4).

$$R_{TF} = \frac{PL}{B.D^2} \quad (4)$$

Em que P = carga máxima aplicada, em N; L= distância entre cutelos de suporte, em mm; B = largura do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm; D = altura do corpo-de-prova, na seção de ruptura, em mm.

b) Porosidade e Densidade aparentes

Com base nos princípios de Arquimedes, é possível fazer a verificação da porosidade e densidades aparentes das composições utilizadas. A técnica consiste em comparar as massas dos corpos de prova antes e depois da imersão em água. As amostras foram pesadas ainda secas (M_s) e, em seguida, imersas em água, onde são deixadas durante 24 horas para que haja saturação das mesmas. Após esse período, determina-se a massa imersa (M_i) e a massa úmida (M_u), então, calculamos a porosidade aparente (P_a) e a densidade aparente (D_a), utilizando as equações (5) e (6).

$$\% P_a = 100 \cdot \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \quad (5)$$

$$D_a = \rho \cdot \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (6)$$

Em que ρ é a densidade do líquido (para a água, ρ é igual a 1,0 g/cm³)

c) Absorção de água por Capilaridade

A absorção excessiva de água é um indicador de uma maior difusão de elementos e soluções para dentro da mistura, aumentando as chances de ocorrência de corrosão e, também, da reação álcalis-agregado, sendo, assim, fundamental para o presente estudo.

O ensaio de absorção de água por capilaridade é realizado com três corpos de prova de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada composição, na idade de 28 dias. Inicialmente esses corpos de prova são secos em estufa por 24 horas e, em seguida, resfriados à temperatura ambiente. Determina-se a massa dos corpos de prova secos e, então, coloca-os sobre uma lâmina d'água no nível constante e igual a 7±1 mm da base do corpo de prova. Durante o ensaio, determina-se a massa dos corpos de prova com intervalos de tempo normalizados pela NBR 9779 (ABNT, 2012). Assim, calcula-se o coeficiente angular da reta de absorção capilar (massa de água absorvida por metro quadrado de argamassa) em função da raiz quadrada do tempo, que representa o coeficiente de absorção capilar.

2.2.4 Determinação da Reatividade álcalis-agregado (RAA)

O método utilizado para avaliar a reatividade dos agregados da região metropolitana de Salvador quanto à reação álcali-agregado foi o definido pela norma NBR 15577-4 (ABNT, 2008a). Esse método consiste em avaliar a expansão dimensional de barras de argamassa submetidas a uma solução alcalina de hidróxido de sódio, a 80°C.

Para o preparo da argamassa o agregado graúdo deve ser obtido com um mínimo de britagem, de forma a produzir um produto classificado conforme a norma. Foram moldadas barras de dimensão 25 mm x 25 mm x 285 mm com proporções em peso de cimento: agregado de 1 : 2,25 com relação a/c fixada pela norma e igual a 0,47 e utilizando um cimento-padrão fornecido pela ABCP, próprio para realização desse tipo de ensaio e que atenda aos requisitos da ABNT NBR 5732 (ABNT, 1991).

2.2.5 Avaliação da eficiência das adições ativas em mitigar a ocorrência da RAA

O método definido pela norma NBR 15577-5 (ABNT, 2008b), com o mesmo princípio do método da ABNT NBR 15577- 4 (ABNT, 2008a) é indicado para avaliar a eficiência de materiais pozolânicos em mitigar a expansão decorrente da reação álcalis-agregado.

Neste método são realizadas misturas sem adições e com adições. Foram confeccionadas três barras de argamassa com dimensões 25 mm x 25 mm x 285 mm para cada este. Utilizou-se o cimento Portland CPV ARI-RS (equivalente ao cimento tipo V, de acordo com a ASTM C150), comprovadamente não mitigador da RAA e o agregado reativo disponível da região.

As medidas de expansão são feitas de maneira semelhante à NBR 15577-4 (ABNT, 2008a), e ao final dos 30 dias faz-se a análise comparativa da expansão nas barras de argamassa de referência (sem adições) e das barras de argamassa com adição de metacaulim e sílica ativa, nos teores de 10%, 15% e 20%. Dessa maneira é possível concluir se o material contribuiu ou não para a redução da expansão provocada pela RAA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos Materiais

A composição química do cimento e as características físicas dos materiais utilizados no estudo se encontram nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Composição química do cimento, determinada por FRX.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Teor de Álcalis		
					Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O _{eq} *
19,10	4,84	3,19	61,12	2,73	0,24	0,70	0,70

$$* \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$$

Tabela 3. Características Físicas dos materiais

Propriedades	CPV ARI RS	Metacaulim	Sílica	Areia
Massa específica (g/cm ³)	3,08	2,68	2,35	2,66
Área superficial específica BET (m ² /g)	0,33	16,85	9,78	-
Finura peneira 75 µm (%)	2,39	-	-	-

3.2 Análise de desempenho das argamassas

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão, nas idades de 3, 7 e 28 dias de cura, das argamassas com substituição parcial do cimento pela sílica ativa e metacaulim, respectivamente. O traço utilizado foi 1:3, com relação água/aglomerante (cimento+adição) igual a 0,6, conforme Tabela 1. Utilizou-se, também, aditivo superplastificante a fim de garantir trabalhabilidade à mistura.

Observa-se que na medida em que se aumenta o teor de sílica ativa, há um aumento na resistência mecânica da argamassa, atingindo valores de compressão axial de 35,2 MPa com 20% de sílica ativa, enquanto que a argamassa de referência apresentou resistência de 27,8 MPa (aumento de

27%). Comportamento semelhante é observado para os resultados de tração na flexão, porém, para teores de substituição inferiores a 20%, aos 28 dias, os corpos de prova apresentaram resistência próxima aos corpos de prova da argamassa de referência.

O aumento da resistência também é observado com 15% de metacaulim (Figura 2), onde a compressão axial atinge o valor de 32,5 MPa, enquanto que a argamassa de referência apresentou resistência de 27,8 MPa (aumento de 17%). Embora as argamassas de 10% tenham apresentado resistência inferior às de referência, os resultados se encontram em faixas de erro muito próximas, concluindo-se então que não houve variação de resistência considerável com adição de 10% do material.

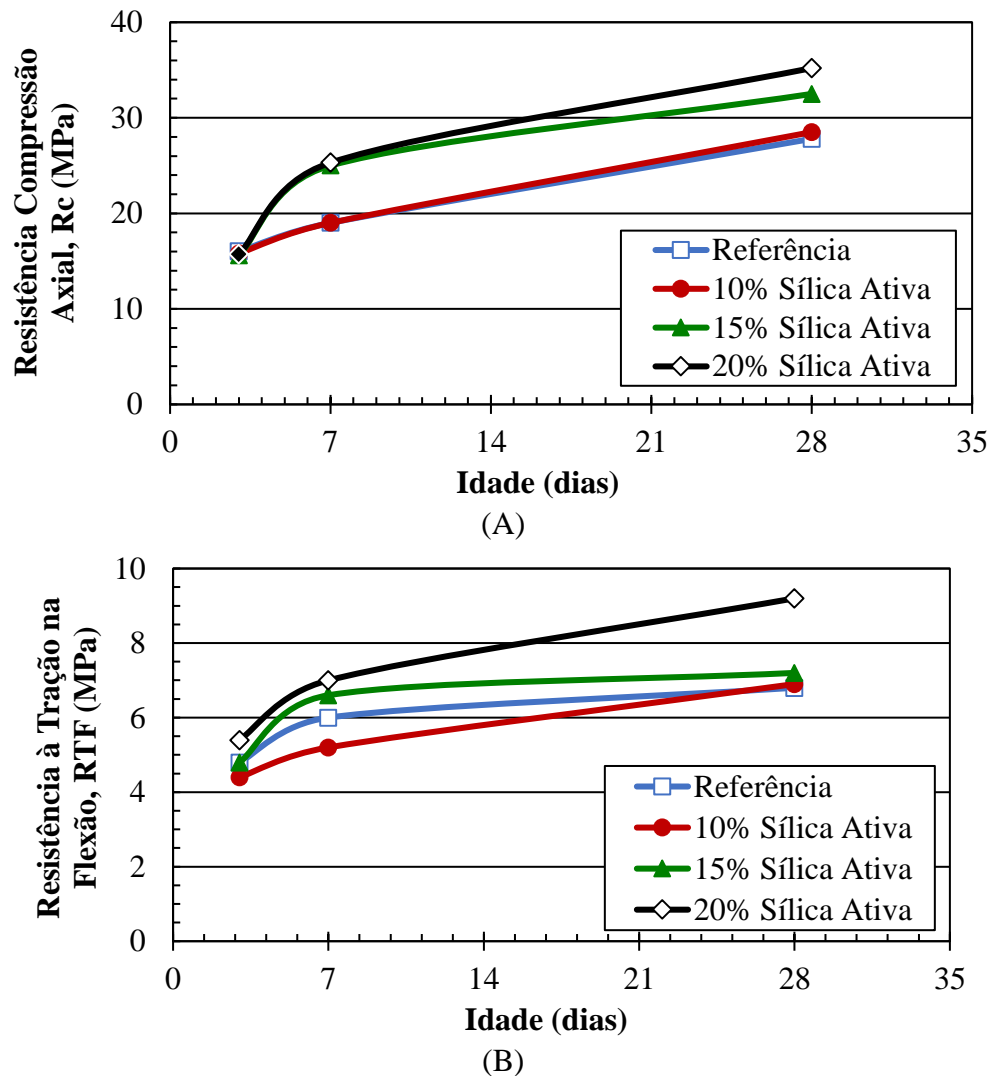


Figura 1. (A) Resistência à compressão axial e (B) à tração na flexão das argamassas contendo sílica ativa, em substituição parcial ao cimento Portland, em função da idade.

Nos resultados de tração na flexão, também não se observou aumento significativo da resistência nas argamassas com a adição. Este comportamento foi observado por Beltrão (2010) ao ensaiar corpos de prova de concreto com adição de metacaulim nos teores de 6%, 10% e 14%.

Segundo Hassan et al. (2012) os resultados de resistência à compressão aos 28 dias mostram que a adição de qualquer teor de metacaulim aumenta a resistência à compressão do concreto. Porém, não há uma “linearidade” na relação entre o teor utilizado e o aumento da resistência, uma vez que o concreto com 8% de metacaulim apresentou resultados melhores do que os de 11%. Munhoz

(2007) também observou um decréscimo na resistência à compressão quando comparados os resultados dos corpos de prova com 5% e 10% da adição ativa, sendo o resultado de 10% o menor apresentado quando comparado com teores de 5% até 20%.

Além disso, observou-se uma melhora de apenas 7% da resistência à compressão, a partir da adição de 8% de metacaulim, quando utilizado teores até 25% (Munhoz, 2007). É possível que tenha ocorrido uma “saturação da argamassa”, isto é, a quantidade de adição disponível permaneceu muito maior do que a quantidade de hidróxido de cálcio (produto da hidratação do cimento). Com essa relação “desproporcional”, a reação pozolânica ocorrerá de maneira mais lenta, retardando a formação do CSH e resultando, assim, em um menor aumento na resistência com altos teores de adição (Beltrão, 2010).

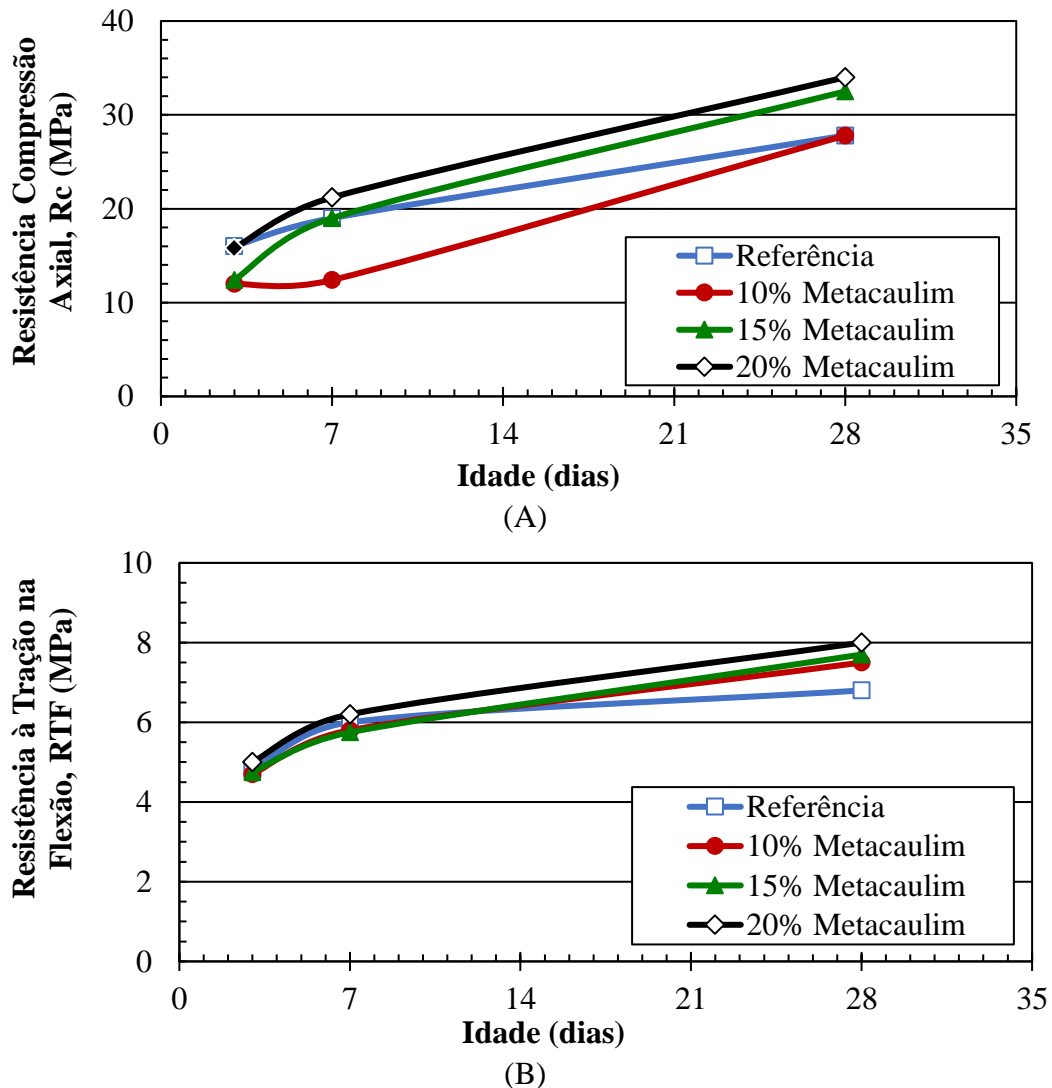


Figura 2. (A) Resistência à compressão axial e (B) à Tração na flexão das argamassas contendo metacaulim, em substituição parcial ao cimento Portland, em função da idade.

O aumento da resistência das argamassas com sílica ativa e metacaulim ocorre porque a pozolana, juntamente com o hidróxido de cálcio, gera compostos ligantes, de características similares aos compostos decorrentes da hidratação direta dos grãos de clínquer. Como consequência tem-se uma estrutura mais compacta, química e mecanicamente mais resistente que a do cimento Portland

comum. Assim, a presença de cimentos pozolânicos contribui para uma maior compacidade e resistência à compressão após 28 dias de cura e maior impermeabilidade à água (Giordano, 2007). O uso da sílica e do metacaulim permitiu a obtenção de uma argamassa menos permeável, conforme o esperado e também observado em estudos de Gomez-Zamorano et al. (2015). A partir dos resultados de caracterização (tabela 3), tem-se que a sílica e o metacaulim são materiais mais finos do que o cimento, uma vez que apresentam maior área superficial. As partículas mais finas dessas adições tendem a diminuir a quantidade relativa de poros capilares, refletindo numa redução da absorção de água por capilaridade, como observado na Figura 3.

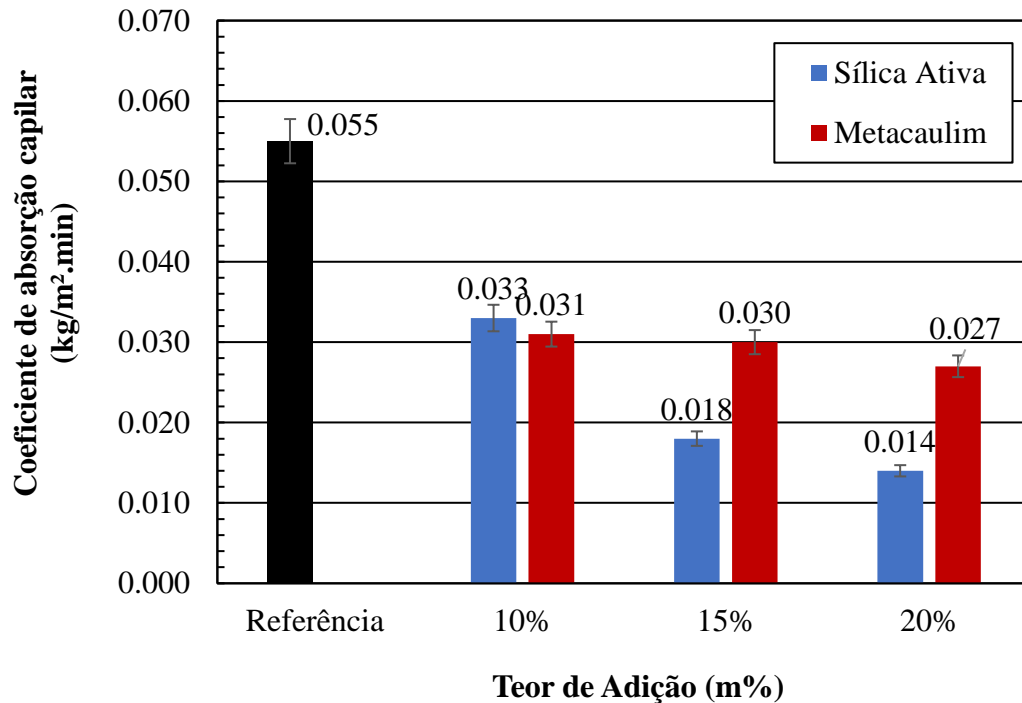


Figura 3. Coeficiente de absorção capilar de argamassas contendo sílica ativa e metacaulim em substituição parcial ao cimento Portland, após 28 dias de cura.

A Figura 4 apresenta os resultados de densidade e porosidade aparentes para argamassas de referência (sem adição) e contendo sílica ativa e metacaulim em substituição parcial ao cimento Portland. Observa-se que não há variação significativa na densidade da argamassa ao se substituir parcialmente o cimento Portland pelos materiais pozolânicos, entretanto, observa-se um aumento significativo na porosidade ao utilizar a sílica e uma redução na porosidade ao utilizar o metacaulim.

Uma vez que o metacaulim e a sílica ativa são materiais mais finos que o cimento, espera-se que haja preenchimento dos poros, além de seu refinamento e, conseqüentemente, a redução da porosidade

Os resultados analisados por Siddique (2011), indicam que a utilização de sílica ativa reduz a porosidade do concreto, diferente do que foi observado neste trabalho. Acredita-se que a utilização do aditivo sem redução parcial da água, tenha influenciado neste comportamento, pois, apesar da relação água/aglomerante ter se mantido constante, a relação a/c variou, conforme apresentado na tabela 1. Para maiores teores de sílica, tem-se maior relação a/c e, conseqüentemente, maior quantidade de água na mistura. A água adicional, que não é consumida na hidratação do cimento, permanece livre no sistema e, ao evaporar, dá origem ao aumento da porosidade da argamassa.

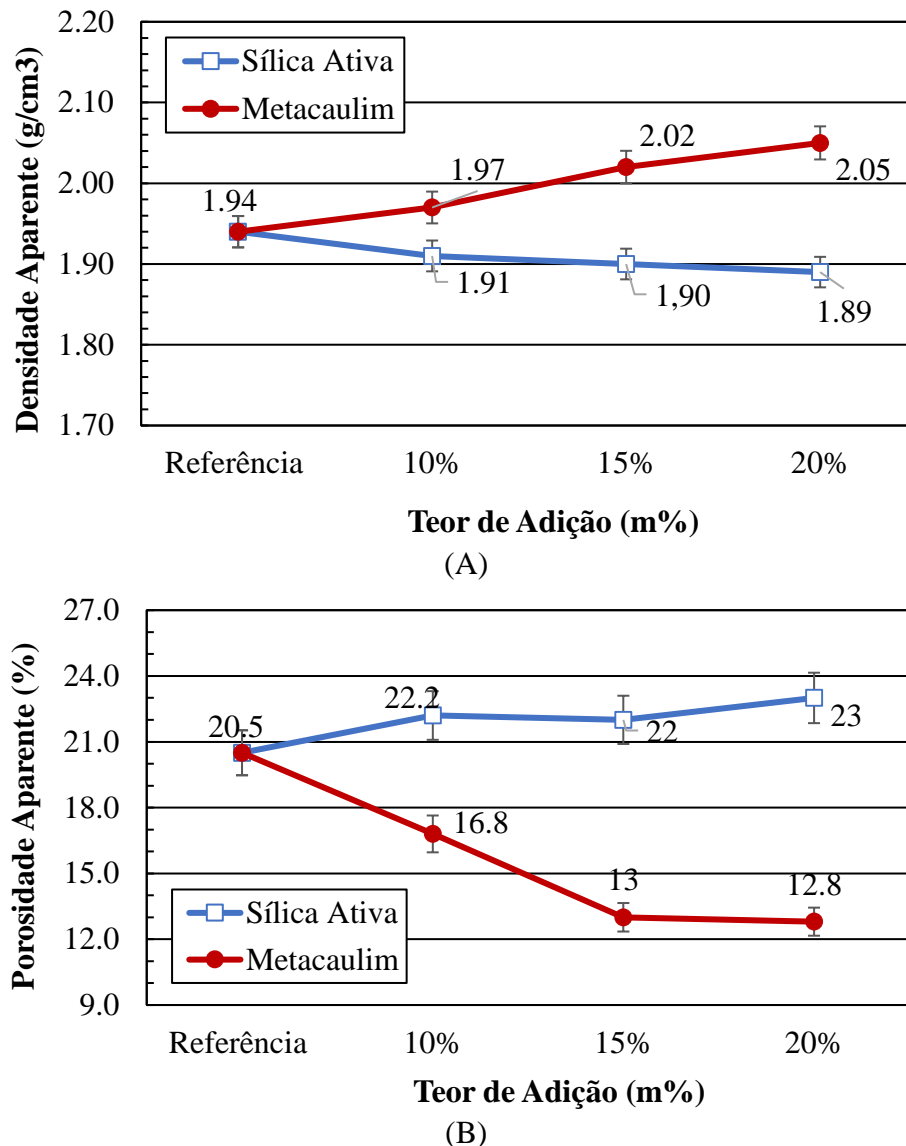


Figura 4 – (A) Densidade e (B) porosidade aparentes das argamassas contendo sílica ativa e metacaulim, em substituição parcial ao cimento Portland, após 28 dias de cura.

3.3 Determinação da reatividade dos agregados da região metropolitana de Salvador

Foram analisadas algumas areias e britas provenientes de jazidas localizadas na região metropolitana de Salvador (RMS) e em Feira de Santana. A Figura 5 apresenta os resultados de expansão das barras de argamassa, submetidas ao ensaio de RAA, em função do tempo de ensaio, para diversos agregados graúdos. De acordo com a norma NBR 15577:2008, para ensaios de RAA para avaliação de agregados graúdos, estes devem ser triturados, a fim de se obter uma granulagem desejada e semelhante a um agregado miúdo.

A Figura 6 apresenta os resultados de expansão das barras de argamassa, submetidas ao ensaio de RAA, em função do tempo de ensaio, para agregados miúdos comercializados na região metropolitana de Salvador (RMS) e em Feira de Santana.

Assim, analisando os resultados obtidos com os agregados utilizados, observa-se que, de maneira geral, os agregados graúdos são reativos quanto a reatividade álcalis-agregado, enquanto que os agregados miúdos são potencialmente inócuos. Sendo assim, há restrições quanto à utilização das britas na RMS. A depender das condições de umidade e do cimento selecionado, será necessário utilizar adições ativas no concreto para mitigar a RAA.

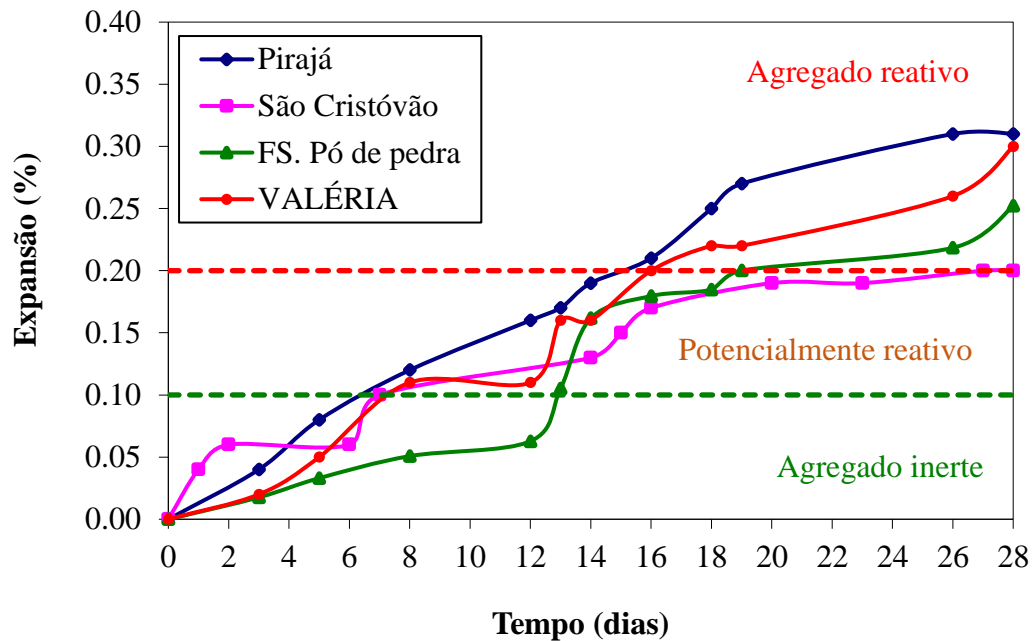


Figura 5. Expansão das barras, devido à reação álcalis-agregado (RAA), em argamassas contendo agregados graúdos comercializados em Salvador.

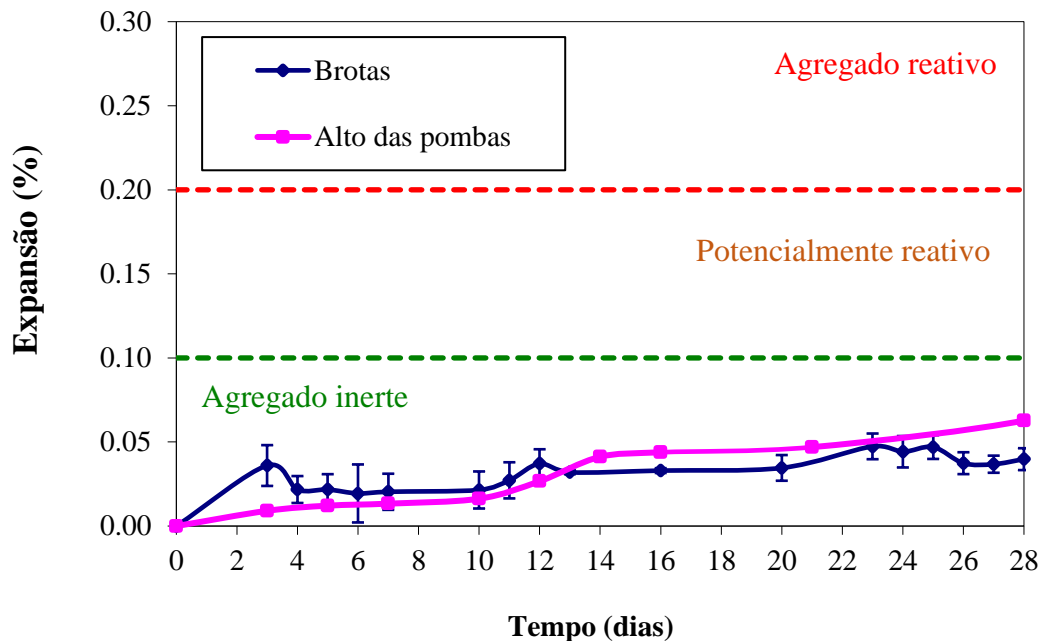


Figura 6. Expansão das barras, devido à reação álcalis-agregado (RAA), em argamassas contendo agregados miúdos comercializados em Salvador.

3.4 Avaliação da eficiência das adições ativas em mitigar a RAA

Os resultados das investigações das expansões realizadas pelo método acelerado, na presença da sílica ativa e metacaulim são apresentados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

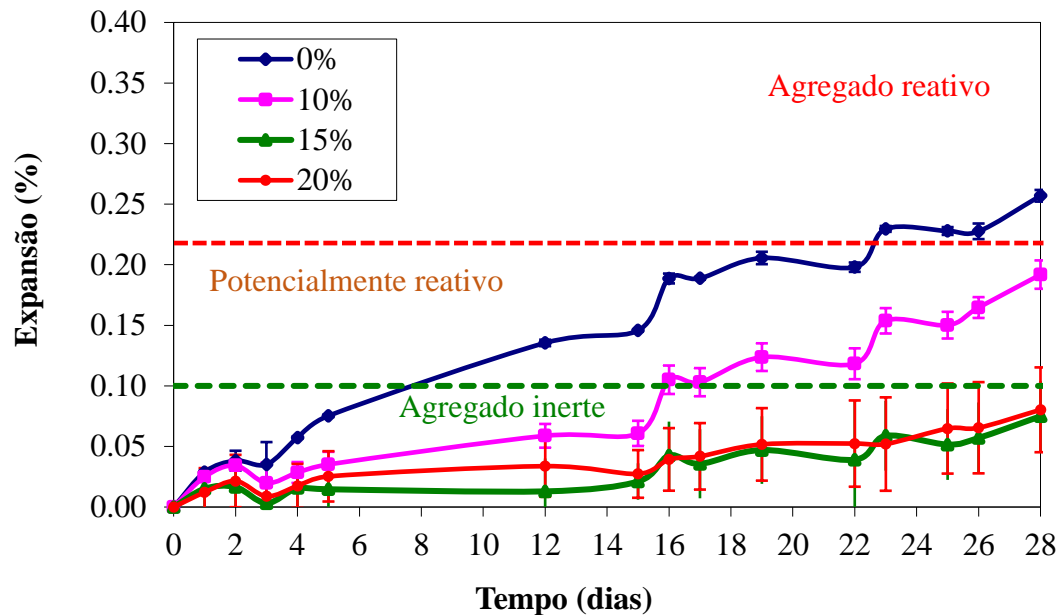


Figura 7. Expansão das barras, devido à reação álcalis-agregado (RAA), em argamassas contendo adição de 10%, 15% e 20% de sílica ativa.

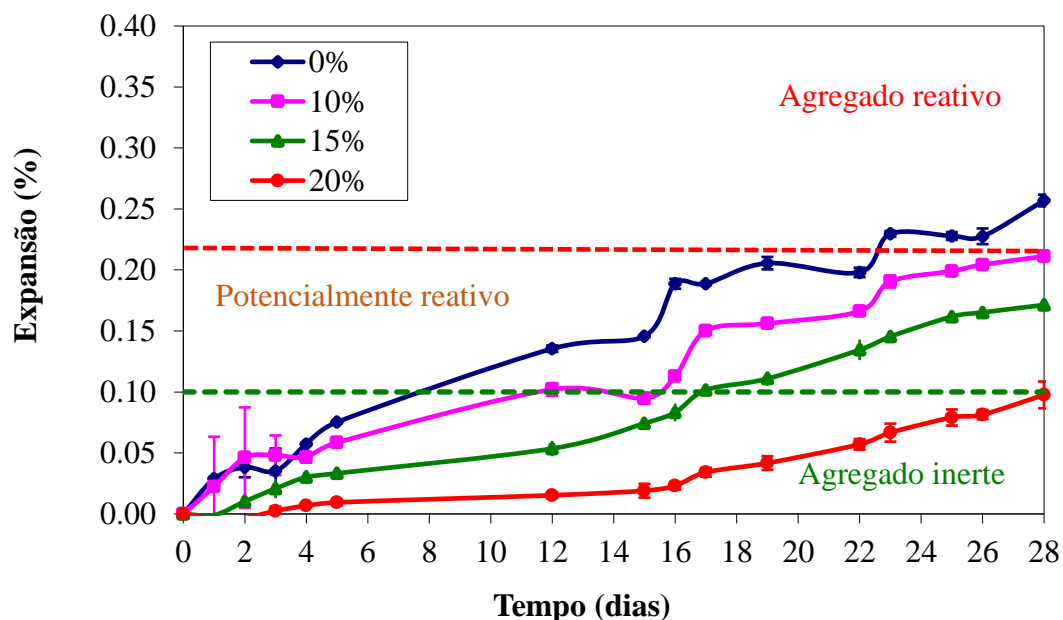


Figura 8. Expansão das barras, devido à reação álcalis-agregado (RAA), em argamassas contendo adição de 10%, 15%, 20% de Metacaulim.

O comportamento dos corpos de prova com adição de sílica ativa (Figura 7) foi semelhante ao observado por diversos autores (Thomaz, 2011; Hasparyk e Farias, 2013; Lindgard et al., 2012), que verificam que o aumento do teor desta adição, contribui para a mitigação da reação, devido às propriedades pozolânicas do material.

Os trabalhos citados utilizaram teores máximos de sílica ativa entre 12% e 15%, porém, na presente pesquisa, optou-se por utilizar teores mais elevados com o intuito de verificar se o uso indiscriminado desse material interfere na RAA. Observou-se que ao atingir o teor de 15%, houve

uma estagnação na capacidade mitigadora desta adição. Assim, ao utilizar teores superiores a este, espera-se que não haja uma melhoria no comportamento do material, podendo, inclusive, resultar em comportamento inverso, ou seja, o aumento da RAA, pois, uma vez que a sílica ativa é uma sílica amorfa, e, portanto, reativa, acredita-se que, se utilizada em excesso, possa ocorrer uma “saturação” desse material na solução intersticial dos poros da matriz cimentícia. Parte da sílica ativa reagirá com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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.

O comportamento dos corpos de prova com adição de metacaulim (Figura 8) foi semelhante ao observado por outros autores (Munhoz, 2007; Hasparyk e Farias, 2013). O aumento do teor de metacaulim contribuiu para a mitigação da reação, devido às propriedades pozolânicas do material. Observou-se uma crescente redução na reatividade à medida em que se adicionou o metacaulim. A norma determina que a comprovação da mitigação da reação será obtida quando o resultado do ensaio acelerado em barras de argamassa for menor que 0,10 % aos 16 dias (França et. al, 2016). Logo, a partir dos resultados obtidos, é possível prever que utilizando teores de metacaulim superiores a 15%, haverá maior redução da expansão e será possível mitigar a RAA apresentada neste agregado, no entanto, estes resultados só se mostraram efetivos ao se adicionar 20% deste material.

Ao se comparar o desempenho das adições minerais, observa-se que a sílica ativa se apresentou mais efetiva na mitigação da ocorrência das reações álcalis-agregado.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente trabalho, conclui-se que:

- Todos os agregados graúdos comercializados na região metropolitana de Salvador, estudados na presente pesquisa, são classificados como agregados reativos quanto à ocorrência de RAA;
- Os agregados miúdos comercializados na região metropolitana de Salvador, originados das jazidas da região de Camaçari, são classificados como agregados potencialmente inócuos quanto à ocorrência de RAA;
- A análise de desempenho das argamassas ratificou que a utilização de sílica ativa e metacaulim melhoram as propriedades das matrizes cimentícias, resultando em argamassas mais resistentes à compressão e à tração na flexão e com menor permeabilidade;
- A sílica ativa mostrou capacidade em mitigar as expansões ocasionadas pela reação álcalis-agregado, atingindo o ponto de saturação em 15% de adição;
- Quando utilizada em excesso pode ocorrer uma “saturação” da sílica ativa na solução intersticial dos poros da matriz cimentícia, assim, a parcela que não reagirá com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em excesso, ficará disponível para reagir com os álcalis que não foram incorporados na estrutura do C-S-H;
- O metacaulim mostrou crescente capacidade em mitigar as expansões ocasionadas pela reação álcalis-agregado quando aplicada nos teores de 10%, 15% e 20%;
- A sílica ativa se mostrou mais efetiva quanto à mitigação da RAA em comparação ao metacaulim.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio das empresas LC Lactose, Metacaulim do Brasil, Companhia de Ferro Ligas da Bahia (Ferbasa), Vedacit e Mizu Cimentos, que doaram os materiais utilizados na pesquisa. Agradecemos, também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). *NBR 5732: Cimento Portland comum*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998). *NBR NM 76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar - Método de Blaine*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008a). *NBR 15577: Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008b). *NBR 15577: Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro
- Beltrão, F. C. M. (2010), “*A influência do metacaulim nas propriedades do concreto*”, Trabalho de conclusão de curso. Universidade da Amazônia, Belém, p.44.
- Beyene, M., Snyder, A., Lee, R. J., Blaskiewicz, M. (2013), *Alkali Silica Reaction (ASR) as a root cause of distress in a concrete made from Alkali Carbonate Reaction (ACR) potentially susceptible aggregates*. *Cement and Concrete Research*. 51(9). 85-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.04.014>
- Campos, R. N. (2015) “*Durabilidade em concretos contendo cinza de biomassa contendo elevado teor de álcalis*”, Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, p. 89.
- França, D. F. S., Rey, R. O., Ferreira, L. R. C., Ribeiro, D. V. (2016) *Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland*. *Ambiente Construído*, 16 (3), 153-166, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300098>
- Gamino, A. L. (2003), “*Reações álcali-agregado: análise da potencialidade de ocorrência em agregados utilizados no laboratório de engenharia civil da FEI/UNESP*”. In: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, pp. 42-54.
- Giordano, B. L. (2007), “*Estudo da reação álcali-agregado dos agregados da região metropolitana de Belém*”. Trabalho de conclusão de curso. Universidade da Amazônia, Belém, p. 47.
- [Gomez-Zamorano, L. Y.](#), [Iniguez-Sanchez, C. A. E.](#), [Lothenbach, B.](#) (2015), *Microestructura y propiedades mecánicas de cementos compuestos: Efecto de la reactividad de adiciones puzolánicas e hidráulicas*. *Revista ALCONPAT*, 5 (1), 18-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v5i1.74>
- Hasparyk, N. P., Farias, L. A. (2013), “*Comportamento de adições e aditivos na expansão da reação álcali-agregado – Um estudo envolvendo reologia*”. In: 55º Congresso Brasileiro de Concreto, pp. 1-12.

- Hassan, A. A. A., Lachemi, M., Hossain, K. M. A. (2012), *Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete*. Cement and Concrete Composites, 34(6), 801– 807. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.013>
- Lindgard, J., Andiç-Çakir, O., Fernandes, I., Ronning, T. F., Thomas, M. D. A. (2012). *Alkali-silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing*. Cement and Concrete Research, 42(2), 223-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.004>
- Munhoz, F. A. C. (2007), “*Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-silica e álcali-silicato*”. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 p.
- Siddique, R. (2011), *Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties*, Resources, Conservation and Recycling, 55 (11) 923–932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- Thomas, M. (2011), *The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review*. Cement and Concrete Research, 41(12), 1224–1231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.003>