Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: DEFINIÇÃO, INFLUÊNCIA E CONTROLE

D. L. SILVA
Mestranda em Eng.º Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: dione_luiza@hotmail.com

J. M. M. FONSECA
Eng.ª Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: mccartney.juliana@gmail.com

D. G. C. SILVA
Mestranda em Eng.º Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: deborahgrasielly@yahoo.com.br

E. C. B. MONTEIRO
Profª. Eng.ª Civil
UNICAP/POLI-UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: eliana@poli.br

RESUMO

A reação álcali-agregado é uma manifestação patológica decorrente de processos químicos resultante da interação de minerais reativos, que estão presentes em alguns agregados, e os hidróxidos alcalinos provenientes do cimento Portland, água de amassamento e agentes externos, dissolvidos na solução presente nos poros do concreto. É uma reação que se dá de forma lenta, mas que pode causar prejuízos irremediáveis, com fissuras por exemplo, que comprometem a resistência mecânica e a durabilidade da estrutura afetada. O principal objetivo desse trabalho é de ampliar os conhecimentos existentes sobre a evolução dessa manifestação patológica a fim de contribuir para erradicação desse problema nas obras de construção civil. A metodologia utilizada no artigo conta com uma revisão bibliográfica que aborda um histórico da ocorrência da reação álcali-agregado no Brasil e no mundo, a sua definição, os tipos de reação, os fatores que a influenciam, os métodos de controle e alguns casos na Região Metropolitana do Recife que apresentaram essa manifestação patológica durante o processo construtivo e durante sua vida útil. O artigo aqui apresentado com a finalidade de contribuir para disseminar um conhecimento mais aprofundado dessa manifestação patológica, bem como, apontar ações mitigadoras de sua ocorrência, se constitui uma ferramenta relevante para o meio técnico, o resultado esperado com essa produção é ampliar o conhecimento do tema proposto, visto o crescente número de ocorrência dessa manifestação patológica na estruturas de concreto.
Palavras-chave: reação álcali-agregado, manifestação patológica, controle.

ABSTRACT

The alkali-aggregate reaction are pathological due to the resulting chemical processes of interaction of reactive minerals that are present in some aggregates, and alkali hydroxides from Portland cement, water kneading and external agents dissolved in the solution present in the pores of concrete. It is a reaction that occurs slowly, but may cause irreparable damage, for example with cracks that impair the mechanical strength and durability of the affected structure. The main objective of this work is to expand the existing knowledge about the evolution of this pathological manifestation in order to contribute to eradicate this problem in the construction works. The methodology used in the article includes a literature review that addresses a history of occurrence of alkali-aggregate reaction in Brazil and around the world, its definition, the types of reaction, the factors that influence it, control methods and some cases in Metropolitan region of Recife who had this pathological manifestation during the construction process and during its lifetime. The article presented here in order to contribute to spreading a deeper understanding of this pathological manifestation as well, pointing out mitigating actions of its occurrence, it is a relevant tool for the technical means, the expected result with this production is to increase the knowledge of theme proposed, as the increasing number of occurrence of this pathological manifestation in concrete structures.

Keywords: Alkali- aggregate reaction , pathological manifestation control..

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros relatos da reação álcali-agregado (RAA) foram realizados em 1940 na Califórnia, estudada pela primeira vez por Stanton, um pesquisador inglês. Ele identificou a RAA como uma reação altamente prejudicial que ocorria entre a sílica do agregado, os álcalis do cimento e os constituintes do concreto. Segundo o autor a reação se manifesta através

de eflorescências brancas, causando expansão e fissuração no concreto, ele concluiu essas características através de observações em estruturas afetadas na Califórnia na época da descoberta [1].

Essa descoberta causou o interesse de alguns pesquisadores da área e incentivou o início de várias pesquisas relacionadas ao problema, devido ao dano irreversível que essa manifestação patológica pode causar nas estruturas afetadas. Essas pesquisas contribuíram para esclarecer o surgimento dessa manifestação patológica, considerando o seu processo químico, a identificação dos minerais reativos e os prejuízos causados por ela [2].

Um das primeiras teorias formuladas para explicar o mecanismo de expansão da RAA, foi elaborada por Hansen, em 1944, e foi denominada de pressão osmótica nela, hipoteticamente, os produtos da reação ficavam confinados dentro de uma membrana semipermeável da pasta de cimento e sob pressões hidráulicas, origina a expansão na estrutura de concreto [3]. Entre 1950 e 1960 o estudo da RAA perdeu forças e as pesquisas sobre o assunto foram retomadas na década de 70, a partir do surgimento dessas anomalias em vários países.

Foram diagnosticadas várias estruturas afetadas em várias partes do mundo, desde que descobriu-se o fenômeno da RAA, dentre elas: barragem Val de La Mare (Reino Unido), a barragem de Sandouping (China), a barragem La Tuque (Canadá), a barragem Kouga (África do Sul), a barragem Chambon (França) e etc. A Tabela 1 mostra os países que mais foram afetados pela RAA [4].

Tabela 1 – Nº de casos de Países afetados pela RAA [5]

PAÍS	Nº DE CASOS
França	5
Noruega	7
África do Sul	10
Brasil	20
EUA	29
Canadá	41

Face ao exposto, o presente trabalho consiste na abordagem de um histórico da ocorrência da reação álcali-agregado no Brasil e no mundo, a sua definição, os tipos de reação, os fatores que a influenciam, os métodos de controle e alguns casos na Região Metropolitana do Recife que apresentaram essa manifestação patológica durante o processo construtivo e durante sua vida útil, visando contribuir para erradicação dessa manifestação patológica nas obras de construção civil.

2. REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO NO BRASIL

Desde a década de 60 o Brasil deu início aos primeiros trabalhos sobre RAA, a partir da construção da Barragem de Jupiá, cujo cascalho do Rio Paraná apresentava a fase reativa calcedônia. Existem mais de 20 casos confirmados de barragens afetadas por esta reação no Brasil, dentre eles encontram-se a barragem Apolônio Sales, localizada na divisa entre a Bahia e Alagoas; as barragens de Billings/Pedras, situadas no estado de São Paulo; as barragens de Furnas, em Minas Gerais e a barragem Joanes, no estado da Bahia. A divulgação do primeiro caso em barragem se deu em 1985, na Usina Hidroelétrica Apolônio Sales de Oliveira (Moxotó) [5]. Em 1988 foi confirmada a presença de reação na Barragem de Joanes II (BA). Na década de 90 constatou-se em várias barragens a ocorrência de RAA e, em todos os casos investigados a reação era do tipo álcali-silicato [6].

3. REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO EM PERNAMBUCO

Os primeiros relatos da RAA em Pernambuco aconteceu na cidade do Recife, onde foi realizado um trabalho de investigação na Ponte Paulo Guerra, que liga o bairro do Pina ao centro do Recife e foi detectada a deterioração agressiva em blocos de fundação, pela reação álcali-agregado [7]. Aproximadamente 20 casos de elementos de fundação com reação álcali-agregado foram descobertos na região metropolitana de Recife com idade entre três e 30

anos. O potencial de reatividade dos agregados miúdos e graúdos da Região Metropolitana do Recife foram avaliados pelos mesmos autores que concluíram que a maioria dos agregados analisados apresentava fases potencialmente reativas que efetivamente contribuíram para a ocorrência da reação, principalmente nos blocos de fundação [7].

4. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

4.1 Definição

A reação álcali-agregado (RAA) consiste numa manifestação patológica que se dá por meio de uma reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto entre os hidróxidos alcalinos (em geral à base de sódio e potássio, provenientes do cimento, da água de amassamento, de aditivos químicos, entre outros) e alguns tipos de minerais reativos presentes nos agregados (em geral a presença de sílica amorfa, potencialmente reativa, tais como vidro vulcânico, calcedônia e algumas rochas carbonáticas, por exemplo). Como resultado da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando tensões internas na estrutura do concreto resultando em fissurações, deslocamentos e podendo levar à deterioração das estruturas.

As expansões e as fissurações devidas às RAA podem comprometer a resistência e elasticidade de um concreto afetando sua durabilidade [8].

O tempo para que o fenômeno seja consumado é bastante variável, pois a velocidade da reação está relacionada a vários fatores, tais quais os teores de álcalis solúveis disponíveis, a natureza, o tamanho e a quantidade de agregados reativos, temperatura ambiente, umidade e restrições físicas à reação. Apesar da variabilidade temporal da RAA, colapsos repentinos devidos a estas reações são significativamente raros, uma vez que estas manifestações costumam apresentar sintomas comumente perceptíveis e passíveis de correção ao longo da vida útil da estrutura ou até que um dos reagentes seja consumido e/ou a umidade reduzida [9].

Embora conhecida desde meados de 1940 na Califórnia, seus completos mecanismos ainda não são totalmente conhecidos pela comunidade científica.

4.2 Tipos de reação álcali-agregado

A reação álcali-agregado é classificada em função do tipo dos materiais encontrados nos agregados: Reação Álcali-Sílica (RAS), Reação Álcali-Silicato (RASS) e Reação Álcali-Carbonato (RAC).

4.1.1 Reação álcali-sílica (RAS)

Esta reação ocorre quando as sílicas reativas presentes nos agregados reagem com os íons hidroxilas presentes na estrutura do concreto. A sílica reage com os álcalis sódio e potássio formando um gel sílico-alcalino, instável, que absorve água e a se expande, ocupando um volume maior que os materiais que antecedentes à reação [10]. A RAS consiste reação que mais rapidamente se desenvolve, onde é formado o gel expansivo a partir da sílica reativa dos agregados e dos álcalis na presença de hidróxido de cálcio, componente presente na pasta de cimento. De maneira abrangente, existem duas formas de sílica presentes nos agregados, são elas: sílica cristalina e amorfa [11].

A RAA se dá de duas formas, uma quando o ataque dos íons hidroxilas ocorre na superfície bem cristalizada da sílica, conforme Figura 1, e a outra quando a sílica é amorfa. O processo de ataque dos íons hidroxilas sobre a sílica cristalina é bastante prolongado, com poucos íons de sílica tornando-se fluidos. Enquanto na sílica amorfa é concebida a penetração generalizada dos íons hidroxilas e alcalinos, rompendo as ligações do grupo siloxano (Si-O-Si) [10].

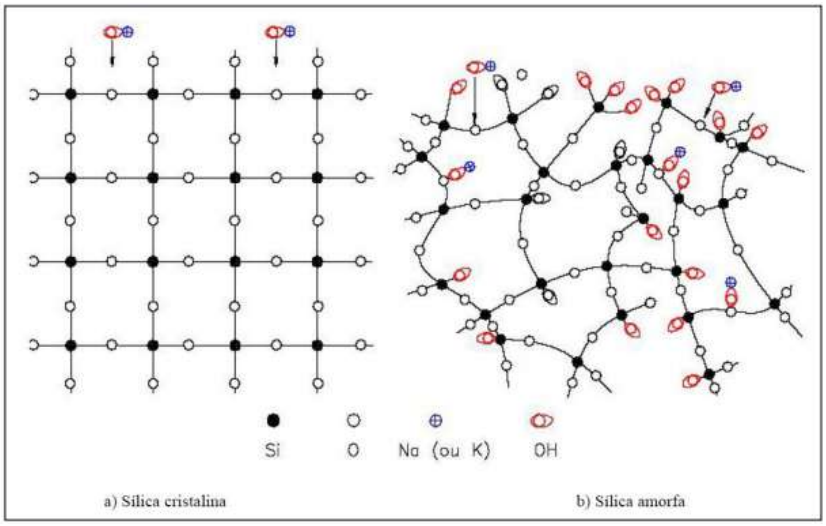


Figura 1: Ataque das hidroxilas à sílica [10]

4.1.2 Reação álcali-silicato (RASS)

É o tipo de RAA mais encontrado em barragens construídas no Brasil [12]. Foram comumente usados na construção dessas estruturas agregados oriundos de quatzitos, granitos e gnaisses, minerais, acreditando na estabilidade desses agregados no uso de concretos, uma vez que o quartzo era um dos materiais mais estáveis encontrados na natureza. Posteriormente, foi descoberto que esse quartzo tinha uma estrutura que se diferenciava do quartzo estável, conhecido como "quartzo deformado", no qual apresentava significativos indícios de reatividade [13].

A RASS é um tipo específico de reação álcali-sílica, que se dá de forma mais lenta do que a RAS (uma vez que os minerais reativos estão disseminados no retículo cristalino do agregado), onde os silicatos reativos mais comuns são o quartzo tensionado por processos de tectonismo e e os minerais que se encontram nas classes dos filossilicatos encontrados em ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, quartzolitos, entre outros [11]. A semelhança da RASS com a RAS dificulta o preciso diagnóstico do tipo dessas as duas manifestações patológicas, pois há a possibilidade de se verificar o produto da reação álcali-sílica no interior do concreto [14].

4.1.3 Reação álcali-carbonato (RAC)

Consiste na reação menos comum, dando-se quando determinados calcários dolomíticos são usados como agregado em concreto, reagindo com os álcalis presentes na pasta de cimento, reação também denominada de desdolomitização, modificando a estrutura calcária, resultando em expansão dos produtos da reação, que, diferentemente das RAS e RASS, não formam gel expansivo, mas compostos cristalizados. O hidróxido alcalino se regenera, enfraquecendo a zona de transição entre os agregados e a pasta de cimento, fissurando-a devido à perda de aderência dos materiais [12]. No Brasil não existem casos registrados de ocorrência da reação álcali- carbonato. [15]. Muitas reações álcalis-carbonato já foram relatadas, todavia nem todas apresentaram-se expansivas [14]. Essas reações classificam-se, portanto, conforme os produtos oriundos de suas respectivas reações, a citar:

- Carbonáticas com agregados calcíticos, caracterizadas pela manifestação de bordas de reação escuras que se desenvolvem ao redor das partículas dos agregados.
- Agregados Dolomíticos, caracterizadas pelas diferentes reações em torno do agregado.
- Agregados Dolomíticos finos com calcitas e argilas intersticiais, promovendo a desdolomitação, a única capaz de produzir compostos expansivos.

5. MÉTODOS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DAS REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO

Uma vez identificada a presença de RAA, sua interrupção bem como a recuperação da estrutura afetada se dá de maneira onerosa e complicada. Diante da situação de ocorrência dessa manifestação patológica e tendo em vista a grande dificuldade de estancar seus efeitos, deve-se supor que todos os agregados são reativos com os álcalis do cimento, até que se prove o contrário[16].

Para o controle da RAA faz-se necessário o monitoramento da estrutura em processo de RAA tendo o objetivo de:

- Verificar se o concreto ainda está em expansão;
- Caracterizar a taxa de expansão com o tempo, definindo se está evoluindo de modo decrescente, constante ou crescente;
- Possibilitar a calibração dos modelos matemáticos de análise do comportamento da estrutura;
- Verificar a eficiência de obras de reparo, se realizadas;
- Acompanhar o aumento da deformabilidade da estrutura, das fissuras internas e das distorções nos estados limites de ruptura e de utilização da estrutura.

Dentre os instrumentos mais utilizados para o monitoramento da RAA, estão os termômetros (medição da temperatura), piezômetros (medição da pressão), extensômetros de haste (medição de deslocamento, deformação e taxa de expansão), extensômetros de fita (medição de deslocamento relativo), marco topográfico (medição de deslocamentos verticais e horizontais), "Strain Gage" (medição de deformação no concreto e na armadura), medidor triortogonal (medição de deslocamentos de abertura ou fechamento e deslocamentos diferenciais), medidor de umidade (medição da umidade interna do concreto) e sensores de automação (automatizadores das leituras) [16].

Para a prevenção e neutralização da RAA é necessária a adoção de medidas como a escolha de agregados não reativos (evitando-se também agregados com superfície específica muito grande, uma vez que aumentam a reação), a utilização de adições minerais (quando não é possível evitar agregados reativos, pode-se substituir parte do cimento por adições minerais) e a utilização de adições químicas (tendo princípio semelhante as adições minerais, porém deve-se considerar seu teor, tendo em vista que alguns aditivos podem ser fonte de álcalis) [17].

6. OCORRÊNCIAS DE REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE/ PE

A princípio, quando estudada, a reação álcali-agregado era frequentemente associada a obras de barragens e obras de grande porte, no entanto, as reações podem ser encontradas em diversos tipos de estruturas de concreto, podendo-se ser constatadas na Região Metropolitana de Recife onde vários estudos atestam a presença de manifestações patológicas compatíveis com RAA em edifícios [18].

6.1 Ponte Paulo Guerra (Recife/PE)

6.1.1 Descrição da ponte

Inaugurada no ano de 1979, a ponte Paulo Guerra fica sobre a bacia do rio Pina, em região próxima ao mar, portanto sujeita à variação das marés. Liga os bairros da Cabanga e do Pina e dá acesso à Zona Sul da cidade, onde se encontra o bairro mais populoso do Recife - Boa viagem.

Segundo o relatório técnico da EMLURB – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana, pertencente à Prefeitura da Cidade do Recife, em 1999 a ponte Paulo Guerra possui comprimento total de 453m, é feita em concreto protendido, possui faixa de rolamento de 15m de largura, passeios laterais de 2m e guarda rodas e 50 cm de espessura.

A superestrutura é formada por dois caixões unicelulares unidos pela laje superior. A laje inferior tem altura variável e a superior, constante. Tem sete vãos contínuos de 47m, com dois balanços extremos de 18,50 m, em suas extremidades, em dentes Gerber, vãos isostáticos de 10,10 m de comprimento.

6.1.2 Danos provenientes de reação álcali-agregado

De acordo com um estudo de caso realizado, todos os blocos de apoio das vigas principais da ponte apresentavam patologias dignas de atenção, principalmente fissuras. O quadro fissuratório variava de bloco para bloco, sendo geralmente em formato de "teia de aranha", ou "mapa", algumas com grandes aberturas. As fissuras eram

predominantemente nos blocos propriamente ditos, porém também podiam ser vistas nos cálices e nas placas premoldadas que revestem os cálices e suas bases (Figura 2). Este quadro de fissuração em peças de concreto é característico da ocorrência de álcali-agregado [20].



Figura 2: Bloco de apoio de vão central com ocorrência de patologia [20].

6.1.3 Solução adotada

Após a realização dos ensaios de análise petrográfica para verificação da durabilidade do concreto foram realizadas análises utilizando microscopia estereoscópica, ótica e eletrônica de varredura dos ensaios pertinentes a diagnose de RAA. Com os ensaios foi comprovada a ocorrência de RAA no tipo álcali-silicato, tendo sido observadas macroscopicamente, várias características da reação, como material branco preenchendo poros e definindo bordas na interface, agregado-argamassa, posteriormente identificado no microscópio eletrônico de varredura como gel expansivo.

Mediante a situação exposta, a solução adotada para a recuperação da ponte tratou-se de um projeto estrutural que optou pelo aproveitamento dos blocos existentes, recuperando-os e reforçando-os [19]. A obra foi iniciada em 2005 e concluída em 2006.

6.2 Edifício comercial no Recife

6.2.1 Descrição do Edifício

O edifício estudado possui fim comercial, tendo sido construído no ano de 1980 com uma disposição de 11 pavimentos e com área construída de aproximadamente 15.000m². A fundação do edifício é composta por blocos de concreto armado sobre estacas tipo franki sua estrutura é em concreto armado.

6.2.2 Danos provenientes de reação álcali-agregado

Escreve-se que após a ruptura ocorrida no Edifício Areia Branca e com a evidência de ocorrências semelhantes nas fundações de outros prédios no município de Recife, resolveu-se vistoriar as fundações do edifício citado. No estudo foi observado um quadro fissuratório bastante grave, tanto pela quantidade de fissuras como pela magnitude de suas aberturas. As Figuras 3 e 4 apresentam o quadro patológico dos blocos de fundação do edifício [20].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 3: Fissura em bloco sobre duas estacas, com dimensões 1 x 2,5 m [20].



Figura 4: Fissura em bloco com 18 estacas, com dimensões 8 x 6 m [20]

Nas análises observou-se que em alguns casos, além das fissuras verticais nos blocos sobre duas estacas terem ultrapassado as bielas, em dois casos, no fundo do prédio, a RAA debilitou os blocos a tal ponto, que houve redistribuição das cargas para outros blocos.

6.2.3 Solução adotada

A empresa responsável pela recuperação foi a JLC Engenharia de Projetos Ltda., do Rio de Janeiro e com o quadro apresentado foi necessário mecanismo para recompor a seção do bloco, introduzindo tensões de compressão no bloco, através de protensão (sendo nos blocos maiores feita em duas direções), com utilização de barras de Dywidag. Além disso, foi necessário a vedação do bloco para evitar que a água do subsolo chegasse ao bloco por capilaridade, realimentando assim o processo de reação álcali-agregado.

6.3 Edifício Público no Recife

6.3.1 Descrição do Edifício

Trata-se de um edifício de uso público no Recife, tendo sido construído no ano de 1993 com 13 pavimentos. No ano de 2005, aos seus 12 anos de idade, em uma pequena reforma de adequação de seu modelo arquitetônico, foram feitas escavações próximas a um dos pilares do edifício público onde se descobriu a existência de manifestações patológicas.

6.3.2 Danos provenientes de reação álcali-agregado

Os blocos de fundação apresentaram um quadro de fissuras, sendo os blocos de maior porte da edificação (de 8 e 9 estacas), os blocos com mais intensas e variáveis fissuras, enquanto os blocos secundários (de 1 estaca), apresentava-se intactos. As Figuras 5 e 6 mostram as fissuras pintadas em cores e a maior trinca encontrada na obra, respectivamente [20].



Figura 5: Faces superior e lateral de bloco com fissuras pintadas [20].



Figura 6: Trinca horizontal com grande abertura e deslocamento [20].

Diante do quadro apresentado e análise dos ensaios efetuados, não há dúvida sobre a forte existência de RAA nos blocos de fundação, sendo evidenciada elevada expansão nos blocos em função das condições favoráveis ao seu desenvolvimento como a presença de agregado reativo, álcalis e umidade.

6.3.3 Solução adotada

Com a comprovação da ocorrência da RAA nos blocos de fundação foram definidas as ações de recuperação estrutural. A solução adotada concentrou-se em duas etapas – o fechamento das fissuras e o reforço da armadura.O fechamento das fissuras e trincas com material apropriado teve o objetivo principal de proteger os blocos contra a eventual entrada de produto deletério e umidade, fatores que agravam a reação álcalis-agregado. E a recuperação dos blocos visou reconstituir a rigidez dos mesmos e reforçar a armadura que combate os esforços de tração e por fim promover a vedação dos mesmos com material impermeabilizante, para inibir a continuação do processo de RAA [20].

6.4 Edifício residencial no Recife

6.4.1 Descrição do edifício

O Edifício analisado é do tipo residencial, possui19 pavimentos e área construída de aproximadamente 13.000m². Construído em 1980, o Edifício residencial possui estrutura de concreto armado, com fck ≥ 18MPa e fundação em blocos de concreto armado sobre estacas tipo Franki.

6.4.2 Danos observados

Do histórico deste edifício residencial tem-se que no ano de 1983, 3 anos após sua construção a obra já havia apresentado fissura em alguns blocos sendo estes reforçados, porém no ano de 2008 foi constatado que alguns blocos que não haviam sido reforçados em 1983m apresentaram, agora, muitas fissuras nas faces laterais e superior, com aspecto semelhante aos de vários edifícios em que já foi constatada a existência de RAA, na região metropolitana do Recife. A Figura 7 apresenta as fissuras no bloco de fundação já preenchidas com microcimento [20].



Figura 7: Bloco de fundação com fissuras já preenchidas [20].

6.4.3 Solução adotada

Confirmada a existência de RAA nos blocos e considerando a avançada idade do edifício – 30 anos, sugeriu-se que a maior parte da expansão da reação já havia ocorrido. Sendo assim, foi recomendado para solucionar o problema o preenchimento da fissura com microcimento e posterior encapsulamento do bloco com camada de concreto nas faces laterais e superior, sendo recomendando-se concreto com fck ≥40 MPa com adição de metacaulim, de modo inibir a incidência de RAA no concreto novo.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É crescente o número de ocorrências de RAA na Região Metropolitana do Recife, com isso é necessário o aprimoramento de soluções adequadas para correção dessa manifestação patológica.

Apesar de casos de colapso repentino de estruturas em decorrência da RAA serem extremamente raros, essa manifestação patológica pode desencadear outros tipos de agressões químicas na estrutura afetada que podem comprometer seu desempenho, durabilidade e segurança.

Faz-se necessário buscar uma soluções que impeçam o aparecimento dessa manifestação patológica em novas estruturas, pois mesmo que ainda não se tenha soluções corretivas, pode-se evitar que ela se manifeste com métodos eficazes de prevenção.

Para evitar a propagação das reações faz-se necessário a verificação da potencialidade reativa dos agregados, tomando as medidas preventivas no tempo adequado, por isso é fundamental o conhecimento das caracteristicas dos agregados, suas propriedades físicas e químicas, a fim de saber o tipo de reação que afetou a estrutura para se realizar um diagnostico correto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] STANTON, T. E. *Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate*. In: Proceedings of American Society of Civil Engineers. v. 66, n. 10. Dec. 1940, p. 17811811.

[2] SANCHES, L. F. M. "Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação da reações Alcali-agregado em Concreto". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de São Paulo- USP. São Paulo, 2008.

[3] PAULON, V.A. "Reações álcali-agregado em concreto". São Paulo, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1981. 125p.

[4] SILVEIRA, A. L. *et al.,* "Investigação da reação álcali-agregado em rochas carbonáticas". In: II Simpósio Sobre Reação Álcali-agregado em Estruturas de Concreto. 2006, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

[5] KIHARA, Y. "Reação álcali-agregado: Mecanismo, Diagnose e Casos Brasileiros". In: Congresso Brasileiro de Cimento, 3., 1993. São Paulo. Anais. São Paulo: ABCP, 1993. v. 1, p. 319-337.

[6] HASPARYK, N. P. "Investigação dos mecanismos da reação álcali- Agregado – efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa". Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. 1999.

[7] ANDRADE, T*., et al.,* "Investigação do potencial de reatividade para o desenvolvimento de RAA dos agregados miúdos e graúdos comercializados na Região Metropolitana do Recife". In: II Simpósio Sobre Reação Álcali-agregado em Estruturas de Concreto. 2006, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

[8] METHA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1 ed. São Paulo: PINI. 1994

[9] TAYLOR, H.F.W. *Cement Chemistry*. 2 ed. London: Thomas Telford, 1997.

[10] DENT GLASSER, L. S. e KATAOKA, N. *The Chemistry of Alkali-aggregate Reaction*. Cement and Concrete Research. v. 11, n. 3, p. 1-9, 1981.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15577: Agregados – Reatividade Álcali-agregado*. Rio de Janeiro, 2008.

[12] VALDUGA, L. "Reação álcali-agregado: Mapeamento de Agregados Reativos no estado de São Paulo". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), São Paulo, 2002.

[13] SILVEIRA, J. F. A. *et al.,.* "Investigação da reatividade álcali-agregado e a confiabilidade dos métodos acelerados". In: Congresso Brasileiro de Concreto, 44, 2002, Belo Horizonte, Brasil. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002.

[14] POOLE, A.B. *Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete.* In: SWAMY, R.N. (Ed.)The alkali silica reaction in concrete. Glasgow: Blackie and Son, 1992.

[15] VALDUGA, L. "Influência das condições de ensaio da ASTM C 1260 na verificação da reação álcali-agregado". Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2007.
[16] SILVA, P. N. "Curso sobre reação Álcali-Agregado". Recife, 2007.
[17] PRISZKULNIK, S. *Inspeção e Diagnostico de Estruturas de Concreto Afetadas pelas Reações Cimento-Agregado. Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações*. Geraldo C. Isaia (Editor). IBRACON. São Paulo – 2005.
[18] ANDRADE, T. W. "Curso Sobre Reação Álcali-Agregado". Recife, 2007.
[19] J.L.C. ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. "Projeto Estrutural de Recuperação dos Apoios da Ponte Governador Paulo Guerra". Rio de Janeiro, 2005.
[20] GOMES, E. A. O. "Recuperação Estrutural de Blocos de Fundação Afetados Pela Reação Álcali-Agregado – a Experiência do Recife". Recife, Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.