

Título: Prevenção da reação álcali-agregados (RAA) em estruturas de concreto

Nome: Igor dos Santos Gonçalves

Engenheiro Civil, pós-graduado em Estruturas, Fundações e Engenharia Geotécnica. Especialista em Impermeabilização de Estruturas e Patologia das Construções. Proprietário da empresa RV Engenharia Civil.

São Vicente, SP - 2024

Prof. Orientadora: Angélica Koppe

RESUMO

A reação álcali-agregados (RAA) é uma anomalia que surge na estrutura de concreto devido à interação entre os compostos hidratados do cimento com minerais reativos dos agregados, formando compostos que, na presença de umidade, podem influenciar o surgimento de fissurações e degradações do concreto. Normalmente esse processo ocorre com agregados que contenham algum tipo de sílica amorfa (reação álcali-sílica) e com agregados de origem dolomítica (reação álcali-carbonato), sendo a reação álcali-sílica mais frequente nas estruturas brasileiras. O presente trabalho tem como intuito descrever a ocorrência da reação álcali-agregados e, com isso, citar meios de prevenção para uma maior durabilidade das estruturas em concreto.

Palavras-chave: reação álcali-agregados, álcalis, sílica, agregado reativo.

INTRODUÇÃO

Quaisquer projetos de engenharia que contemplem elementos enterrados, como no caso de blocos de coroamento, fundações, barragens, pontes, viadutos, devem levar em consideração sua vida útil a longo prazo, pois sua manutenibilidade é de menor alcance em relação à superestrutura. Este fato obriga a investigação, pelo projetista geotécnico, da existência de meios e materiais agressivos e seus possíveis efeitos na estrutura de concreto. Geralmente, um ambiente agressivo pode

ser identificado por fatores como a resistividade do solo, pH, teor de cloretos e sulfatos.

Em uma estrutura de concreto, a aderência entre o aglomerante, normalmente o cimento, e os agregados (miúdo e graúdo) depende exclusivamente de reações químicas que ocorrem entre os componentes hidratados do cimento. Por um lado, essas reações são positivas, colaborando para o ganho de resistência e para uma melhor homogeneidade do concreto. Por outro lado, há o risco de, em alguns casos, desenvolverem-se também reações químicas de cunho expansivo, que, ao contrário da reação positiva, têm a característica de prejudicar a coesão do material concreto, como é o caso da reação álcali-agregados (RAA).

Os primeiros relatos da ocorrência da reação álcali-agregados foram no Estado da Califórnia, Estados Unidos, década de 1930 (Daniel Vêras Ribeiro et. al., 2021), onde foram identificadas fissuras em diversas barragens. Hoje, a reação é reconhecida como a principal causa de deterioração do concreto nos EUA.

No Brasil, o primeiro registro de estrutura, em que a fissuração fora associada à reação álcali-agregado, ocorreu em 1964, em uma barragem da Usina Hidrelétrica de Peti, São Gonçalo/MG.

No entanto, a reação álcali-agregado também foi identificada em edificações residenciais, como no Edifício Areia Branca, localizado em Recife/PE. Esse edifício apresentava diversas manifestações patológicas, e até veio à ruína. Desde então, muitos outros empreendimentos de cunho residencial em diversas regiões brasileiras apresentaram tal ocorrência, como em um edifício localizado em Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, cuja sapata de fundação apresentou fissuração quatro anos após sua construção, sendo posteriormente confirmada a ocorrência da reação álcali-agregados (BERENGUER et al., 2016).

1. A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADOS

A ABNT, NBR 15.577/2018 define a reação álcali-agregado como uma reação química envolvendo os íons hidroxila (OH^-) associados aos componentes alcalinos sódio (Na^+) e potássio (K^+) e certas fases minerais presentes em alguns agregados, que podem causar uma expansão no concreto.

A versão da NBR 15.577 de 2008 classificava as reações álcali-agregados em três tipos: reação álcali-carbonato, reação álcali-sílica e reação álcali-silicato. Todavia, a atualização da norma em 2018 retirou a classificação “reação álcali-silicato”, visto que esta é reconhecida como um tipo lento da reação álcali-sílica. Logo, a norma atual classifica a reação álcali-agregados apenas em reação álcali-carbonato e reação álcali-sílica.

Ainda segundo a norma, a reação álcali-carbonato é assim chamada por abranger agregados rochosos carbonáticos. Nesta reação, há a reação entre a dolomita, presente no agregado, e os álcalis dissolvidos na fase líquida (desdolomitização), formando ainda a brucita e o carbonato de cálcio, sobretudo na forma de calcita.

Já a reação álcali-sílica é uma reação danosa ao concreto, que ocorre quando a sílica em condição de instabilidade, contida nos agregados, interage com os hidróxidos alcalinos presentes na solução intersticial do concreto, que forma um gel expansivo na presença de água. Esse gel provoca uma pressão interna que, ao ultrapassar a capacidade resistiva à tração do concreto, causa sua expansão diferencial, levando a fissuração.

Para que aconteça a reação álcali-agregados, é necessário que três fatores ocorram simultaneamente: i) teores elevados de álcalis na solução intersticial do concreto; ii) nível de umidade elevada e; iii) presença de agregado potencialmente reativo. Na ausência de pelo menos um desses fatores, a reação não ocorrerá.

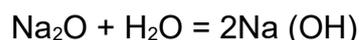
A reação álcali-agregados ocorre mais comumente em estruturas de concreto armado que são sujeitas à umidade frequente.

Uma estrutura em exposição às intempéries não apresenta as mesmas condições de umidade em toda a sua extensão. As partes mais suscetíveis às ações de molhagem e secagem são as mais afetadas pela reação álcali-agregados do que as regiões totalmente imersas ou protegidas da água (OWSIAK et. al., 2015). Logo, estruturas como barragens e fundações estão mais suscetíveis à ocorrência da reação.

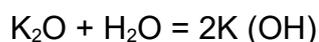
1.1 Reação química

Os íons hidroxilas (OH^-) presentes na pasta de cimento em contato com os álcalis óxido de sódio (Na_2O) e o óxido de potássio (K_2O), ao se interligarem com a sílica presente no agregado e, na presença de umidade, acabam por resultar no rompimento da ligação da estrutura da sílica e na formação de um gel de silicatos de cálcio e álcalis, de característica higroscópica, capaz de acumular água e gerar propressão, causando forças trativas que expandem o concreto e criam um estado de vulnerabilidade para as fissuras.

Os álcalis provêm, antes de mais nada, do cimento. O clínquer possui baixos teores de Na_2O e K_2O que, após a hidratação, passam para a solução sob a forma de hidróxidos:



E



O teor de álcalis no cimento é expresso como porcentagem equivalente de Na_2O em massa ($\%\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \%\text{Na}_2\text{O} + 0,659 \times \%\text{K}_2\text{O}$). Admite-se que um cimento tem baixo teor de álcalis quando o $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ não supera 0,6% (BERTOLINI, 2010). Logo, o teor total de álcalis no concreto é obtido através da multiplicação do percentual eficaz de Na_2O em cada composto da mistura para a dosagem relativa, e a divisão por 100, expresso em kg/m^3 . A maior parte da fase líquida, presente na capilaridade de um concreto produzido com cimento Portland, é formado por uma solução de NaOH e KOH .

O efeito expansivo resultante da reação entre álcalis e agregados com a sílica amorfa torna-se irrelevante se o teor equivalente de Na_2O no concreto for inferior a $3\text{kg}/\text{m}^3$.

A afluência desses hidróxidos se eleva com o percentual equivalente de álcalis. Adições pozolânicas ou de escória de alto-forno reduzem o pH e o teor de álcalis na solução dos poros.

É importante salientar que o teor de álcalis no concreto pode provir não somente do próprio concreto, como também de substâncias que o penetram do exterior, como nas estruturas marinhas ou em pontes nas quais são usados sais de degelo.

Em concretos com alta porosidade capilar, a água é a causa de vários processos químicos de degradação da estrutura, atuando como veículo no transporte de íons agressivos. Logo, a permeabilidade do concreto deve ser reduzida. Isso pode ser feito reduzindo-se o fator água/cimento e realizando-se o maior tempo possível de cura do concreto, que vai retardar a evaporação da água de hidratação da pasta.

Em oposição aos minerais e rochas naturais, o concreto é um material básico (pH de aproximadamente 12,5); logo, águas ácidas tendem a ser prejudiciais.

Helene (1992) ressalta ainda que, a vulnerabilidade ao ataque químico dependente não só da permeabilidade do concreto, mas também da alcalinidade e reatividade dos compostos hidratados do cimento.

Segundo FHWA (2013), as reações álcali-agregados são divididas em dois grupos: reações álcali-sílica e reações álcali-carbonatos. As reações álcali-sílica consistem na interação entre hidróxidos e alguns tipos de silicatos existentes em alguns agregados, formando um gel álcali-silicoso, cuja característica é a absorção de água e variabilidade volumétrica, que fica acumulado nos poros do concreto. E, para que ocorram essas reações, são necessárias três situações:

1. Acúmulo o bastante de sílica reativa nos agregados;
2. Quantidade suficiente de álcalis provenientes do cimento;
3. Umidade.

Caso não haja pelo menos uma dessas condições, as reações de expansão devidas a esse fenômeno não irão manifestar-se.

Em ambientes com umidade relativa inferior a 80%, os álcalis podem conviver com agregados reativos sem provocar nenhum dano. As altas temperaturas também influenciam a reação (BERTOLINI, 2010).

As reações álcali-carbonatos não são tão frequentes quanto às reações álcali-sílica, e consistem na reação entre álcali-hidróxidos (NaOH e KOH) e rochas

carbonáceas, como as calcitas e as dolomitas presentes nos agregados. Essa interação gera uma expansão do agregado, provocando tensões no concreto que podem ser maiores que a resistência à tração deste. Conclui-se, portanto, que não é indicada a utilização de rochas carbonáceas como agregado de concreto.

1.2 Características

De acordo com FHWA (2013), existem alguns aspectos visuais característicos quando da ocorrência de reações álcali-agregados. As principais são:

1. Fissuras;
2. Deformação devido à expansão;
3. Rompimento localizado no concreto;
4. Destituição de juntas;
5. Desprendimentos pontuais;
6. Descoramento superficial;
7. Exsudação de géis.

Isto posto, além de enfraquecer as estruturas de concreto, as reações álcali-agregados contribuem para o acesso de outros produtos que deterioram os elementos estruturais, reduzindo consideravelmente a sua vida útil.

Deve-se considerar que o desenvolvimento da reação álcali-agregados é lento e seus efeitos e consequências podem manifestarem-se em um longo prazo (BERTOLINI, 2010).

Segundo Gomes e Oliveira (2009), os problemas mais graves e recorrentes da reação álcali-agregados no Brasil têm acontecido em cidades do nordeste, muito em circunstância dos solos saturados da região, cuja presença da água é fator determinante para que as reações expansivas ocorram.

O risco da reação álcali-agregados se eleva quando as estruturas contêm uma alta dosagem de cimento ou nas regiões onde o teor de cimento sofre um aumento localizado, como por exemplo o que ocorre com o cimento pulverizado e alisado.

1.3 Prevenção

Mehta e Monteiro (1994) apontam que a durabilidade do concreto de cimento Portland está diretamente relacionada com a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos e biológicos, ou quaisquer outros meios de deterioração.

Alguns fatores contribuem para a redução e/ou mitigação da reação álcali-agregados, entre eles: i) diminuição da permeabilidade do concreto decorrente do baixo fator água/cimento; ii) adequados controles de adensamento, proteção e cura; iii) evitar a ocorrência de fissuras na zona de transição pasta/agregado, por meio do não carregamento precoce da estrutura; iv) otimização do tamanho do agregado; v) reduzido contato com a água, por meio da impermeabilização do concreto; vi) utilizar adições de materiais pozolânicos ou escória de alto-forno, pois estas diminuem o pH da solução intersticial do concreto.

1.3.3 Fator água/cimento

De acordo com BRE (2001) e CIRIA Report (2002), bons fatores água/cimento para resistir a ataques de agentes químicos devem variar entre 0,35 a 0,55 para ambientes muito agressivos e agressivos, respectivamente. Já o teor de cimento recomendado é entre 400kg/m³ e 300m² para esses mesmos respectivos ambientes.

1.3.4 Agregados não reativos

Os minerais formados por sílica fazem parte da classe dos Tectossilicatos. Mais de 60% em volume dos materiais rochosos que constituem a crosta terrestre são formados por minerais dessa classe. Porém, nem todos os agregados descendentes dessas rochas sílicas são reativos. A vulnerabilidade ao ataque alcalino em um certo agregado de rocha dessa espécie é estabelecida pela condição mineralógica. Quanto mais desorganizada e instável for a estrutura do mineral no agregado, mais reativa será a fase.

No Brasil, não há registro de edificação que entrou em colapso devido a reação álcali-agregados. Todavia, a NBR 15.577, dividida em sete partes, recomenda procedimentos laboratoriais de análise, a fim de verificar limites aceitáveis de reatividade dos agregados.

Ela descreve vários ensaios a serem realizados antes do início da obra, a fim de verificar se os materiais a serem utilizados são propensos à ocorrência da reação álcali-agregados e, em caso afirmativo, comprovar se o sistema de prevenção a ser adotado será eficaz. As sete partes dessa norma são as seguintes:

- Parte 1: guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto;
- Parte 2: coleta, preparação e periodicidade de ensaio de amostrar de agregados para concreto;
- Parte 3: análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto;
- Parte 4: determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado;
- Parte 5: determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado;
- Parte 6: determinação da expansão em prismas de concreto;
- Parte 7: determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado.

A análise petrográfica tem de ser realizada em lâminas do agregado, por onde é averiguada a presença de minerais contendo sílica reativa, que estará suscetível à ocorrência da reação álcali-agregados. Normalmente, essas análises são feitas com o acompanhamento de um geólogo.

1.3.5 Limitação do teor de álcalis do cimento

A prevenção da reação álcali-agregados está relacionada, dentre outros fatores, com a utilização de agregados não reativos. Entretanto, tal fato nem sempre é conseguido, por motivos de disponibilidade local ou serem economicamente inviáveis. Outrossim, ainda não existem métodos seguros para prever a reatividade dos agregados, principalmente porque, com frequência, os agregados reativos estão

localizados em pequenos alguns pequenos grânulos, onde a coleta e amostra para os ensaios poderia não ser suficientemente representativa.

Logo, outra alternativa é a limitação do teor de álcalis no cimento, controlando sobretudo o percentual de álcalis do cimento e até mesmo o teor de cimento. A prevenção da reação álcali-agregados está diretamente relacionada com o emprego de um concreto com baixo teor de álcalis.

1.3.6 Adições minerais

Adições minerais são materiais finamente moídos, utilizados como componentes do cimento Portland composto ou inseridos em concretos e argamassas na forma de adição ou substituição parcial ao cimento Portland, que pode produzir efeitos físicos e químicos na microestrutura dos materiais cimentícios (MOLIN, 2005).

A adição de pozolana em quantidades adequadas conferem uma maior resistência à reação álcali-agregados e pode ser uma alternativa quando da não possibilidade da utilização de cimentos com baixo teor de álcalis.

A adições de materiais pozolânicos podem ser utilizadas como mitigadoras da reação álcali-agregados pelo fato destas consumirem uma porção dos álcalis e das hidroxilas resultantes da hidratação do cimento, o que reduz a quantidade de álcalis livres para a reação com o agregado reativo. Gibergues et al. (2008) complementa ainda que essa retenção de álcalis provoca a redução do pH da solução dos poros, reduzindo o ataque aos agregados reativos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que aconteça a aderência entre o cimento (aglomerante) e os agregados, ocorrem combinações químicas entre esses agregados e os componentes hidratados do cimento. Com isso, é esperado que essas interações sejam benéficas ao concreto, tornando-o resistente e homogêneo. Entretanto, em alguns casos, reações de origem expansiva podem ser formadas, o que acabam por fragilizar essa homogeneidade do concreto, como é o caso da reação álcali-agregados (RAA).

A reação álcali-agregados provém da interação entre a sílica reativa de alguns tipos de minerais utilizados como agregados e os íons álcalis sódio (Na^+) e potássio (K^+) que há nos cimentos (quando em teor maior que 0,6%), liberados durante a hidratação dos mesmos, ou também pelo ataque de cloretos, possuindo estes mesmos íons, no meio concreto, o que provoca, de início, a fissuração da camada superficial do concreto, dando a esta superfície uma aparência de mosaico. Posteriormente, ocorre a desagregação da estrutura, na qual normalmente ocorre a formação de um gel de sílica.

Ainda não há método 100% eficaz para inibir o ataque quando este já está em curso.

Em relação à prevenção da reação álcali-agregados, é de suma importância que, logo na fase de projeto, haja uma especificação do tipo de Cimento Portland, que deve possuir baixo teor de álcalis e com adições de pozolana ou escória de alto-forno. Outrossim, é necessário recorrer a agregados não reativos e seguir todas as orientações da norma ABNT, NBR 15.577, bem como limitar o teor de umidade, indicando um adequado fator água/cimento e seu respectivo consumo de cimento por metro cúbico, pois a reação só ocorre em presença de umidade.