

**Análise das características reológicas através da reação álcalis agregado em concretos aplicados em elementos de fundações na região amazônica brasileira – Cidade: Xinguara – PA****Analysis of the rological characteristics through the allcalis reaction aggregate in concrete applied to elements of foundations in the brazilian amazon region - City: Xinguara – PA**

DOI:10.34117/bjdv6n11-486

Recebimento dos originais: 23/10/2020

Aceitação para publicação: 23/11/2020

**Rodrigo Rodrigues da Cunha**

Doutorando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: rodrigo.totalmix@gmail.com

**Alcebíades Negrão Macêdo**

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: anmacedo@ufpa.br

**Andrielli Moraes de Oliveira**

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Goiás

Endereço: Av. Universitária, 1488, Qd. 86, Setor Universitário, Goiânia, GO, CEP: 74605-220

E-mail: andriellimorais@ufg.br

**RESUMO**

A qualidade e durabilidade das fundações em concreto pode muitas vezes ser afetada por ataques químicos, colocando em risco o seu desempenho e segurança. Inspeções e ensaios rotineiros podem não retratar a realidade da estrutura de fundações, sendo algumas vezes necessários análise das características reológicas e ensaios complementares em laboratório de forma a auxiliar no correto diagnóstico de patologias. Isto porque muitas das inspeções em campo e ensaios apenas de resistência dão dados não conclusivos. A reação álcali-agregado (RAA), ou um ataque por sulfatos ou mesmo a corrosão, são patologias que atualmente precisam de investigações mais apuradas. O presente estudo exemplifica este tipo de ataque mostrando alguns dos ensaios laboratoriais que nortearam ao correto diagnóstico das patologias em fundações de uma edificação no Região Amazônica Brasileira, Xinguara - PA.

**Palavras-chave:** Fundações, Concreto, Patologia, RAA**ABSTRACT**

The quality and durability of concrete foundations can often be affected by chemical attacks, putting their performance and safety at risk. Routine inspections and tests may not portray the

reality of the foundation structure, and it is sometimes necessary to analyze the rheological characteristics and complementary tests in the laboratory in order to assist in the correct diagnosis of pathologies. This is because many of the field inspections and resistance-only tests give inconclusive data. The alkali-aggregate reaction (RAA), or an attack by sulfates or even corrosion, are pathologies that currently need more investigations. The present study exemplifies this type of attack showing some of the laboratory tests that guided the correct diagnosis of pathologies in foundations of a building in the Brazilian Amazon Region, Xinguara - PA.

**Keywords:** Foundations, Concrete, Pathology, RAA

## 1 INTRODUÇÃO

A deterioração do concreto pode ocorrer a partir da interação entre a estrutura e o meio no qual ela está inserida. Fatores associados às características dos materiais constituintes do concreto, mas também relativos às suas condições de lançamento, cura, exposição e condições de uso podem acarretar severa deterioração a partir de vários tipos de ataques. A evolução das consequências geradas reflete no desempenho e na durabilidade da estrutura em campo, e consequentemente na sua vida útil.

São vários os tipos de ataques possíveis de ocorrer no concreto, podendo ser divididos em processos químicos, físicos, mecânicos, eletroquímicos ou biológicos. Entretanto, na prática os fenômenos normalmente se sobrepõem, e neste caso torna-se necessário levar em conta as suas interações. Tanto fatores externos como características internas do concreto podem ser fonte responsável pelos ataques. Entre os ataques químicos de deterioração do concreto, destacam-se a reação álcali-agregado e o ataque por sulfatos.

Quando se suspeita de algum problema na estrutura, o ideal é que se inicie a investigação por meio de inspeções em campo, no entanto, muitas vezes torna-se necessária uma investigação mais criteriosa a partir da coleta de amostras em campo para estudos em laboratório além do levantamento de dados dos materiais e da estrutura e do meio no entorno de forma a auxiliar no correto diagnóstico do problema. Sabe-se que muitas das inspeções em campo e ensaios apenas de resistência podem fornecer dados não conclusivos, isto porque manifestações visuais se assemelham em alguns tipos de ataque, e as resistências mecânicas podem até aumentar, dependendo do fenômeno instalado, levando a conclusões errôneas a respeito da qualidade da estrutura.

A causa de deterioração das estruturas normalmente é atribuída a um fator, como por exemplo, a reação álcali-agregado (RAA), ou a um ataque por sulfatos ou mesmo à corrosão das armaduras.

Entre alguns casos de deterioração relatados na literatura, pode ser citado o estudo desenvolvido por SHAYAN e MORRIS (2004). O trabalho mostra um estudo de caso de uma ponte na Austrália onde a suspeita da RAA partiu desde investigações visuais, e foi confirmada por análises em laboratório, onde o agregado de origem gnáissica apresentava quartzo reativo, além das análises microscópicas, que indicaram tanto os produtos característicos da RAA como fases sulfatadas associadas à etringita. Os pesquisadores acreditam que a fissuração intensa observada tenha tido como principal origem a RAA. Outro estudo em 2008 (Shayan, Al-Mahaidi e Xu) mostra a deterioração intensa dum tabuleiro de uma ponte pela RAA, com reflexos negativos no módulo de elasticidade e indicando grande potencial ainda de expansão residual, apesar das resistências mecânicas se apresentarem adequadas.

DURAND et al. (2004) apresentam outro trabalho que relata em estruturas hidráulicas no Quebec, no Canadá, ataques por sulfatos, a RAA e o gelo-degelo. Os estudos em laboratório mostram elevado teor de álcalis capaz de causar a RAA, além da presença de sulfatos solúveis, responsável pela formação de compostos sulfatados secundários.

A Barragem Fagilde, em Portugal, também sofre com fissurações e deslocamentos em virtude da RAA e do ataque por sulfatos interno. Os estudos de diagnóstico foram realizados em testemunhos de concreto extraídos da barragem e analisados em laboratório, onde foi confirmada a presença de gel e etringita, caracterizando as diferentes causas da deterioração (Fernandes, Silva, Gomes, 2008).

Diante do exposto, o presente trabalho aborda o ataque de RAA em fundações de estruturas de concretos provenientes de edificação na cidade de Xinguara, no Estado do Pará, Brasil, mostrando alguns dos ensaios laboratoriais complementares que nortearam ao correto diagnóstico das patologias instaladas.

## **2 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO**

Tendo como base a ocorrência de intensa fissuração em blocos de fundação de uma edificação na cidade: Xinguara – PA, no Brasil (Figura 1), com o objetivo de diagnosticar o problema e investigar as suas possíveis causas. Assim, foram realizadas investigações em campo, a partir de inspeção visual criteriosa, e foi estabelecido um programa de estudos em laboratório. Convém ressaltar que o bloco em questão encontra-se armado na forma de gaiola, ou seja, há armadura inferior, superior e nas laterais.

Fig. 1 – Fissuração observada no bloco de concreto



Inicialmente foram definidos, em campo e após a inspeção visual, os locais nos quais amostras de concreto seriam extraídas. A partir das extrações dos testemunhos de concreto, as amostras foram submetidas a estudos em laboratório, conforme é descrito a seguir.

## 2.1 ANÁLISE DO TRAÇO E DO TEOR DE ENXOFRE

Os estudos envolvendo análise do traço foram realizados em dois corpos de prova de concreto extraídos do bloco. Após a fragmentação dos concretos e separação das frações agregado e argamassa das amostras de concreto, foram efetuadas análises químicas pelo método gravimétrico, tendo sido empregada também a secagem e calcinação para análise dos voláteis. As reconstituições de traço foram feitas a partir dos cálculos na base não volátil, com base nos teores de “resíduo insolúvel”, “sílica” e “óxido de cálcio”, tendo como referência a metodologia do IPT (1940) e de QUARCIONI (1998).

As análises químicas específicas para determinação do teor de enxofre também foram gravimétricas, de caráter quantitativo, obtendo-se os teores de enxofre total, na forma de sulfatos e de sulfetos presente nas amostras de agregado e argamassa. Os teores determinados representam os valores totais existentes nas amostras.

## 2.2 ANÁLISES PETROGRÁFICAS/MINERALÓGICAS DOS AGREGADOS

As investigações petrográficas/mineralógicas dos agregados constituintes dos concretos foram realizadas fazendo-se o emprego da microscopia ótica de luz transmitida e refletida.

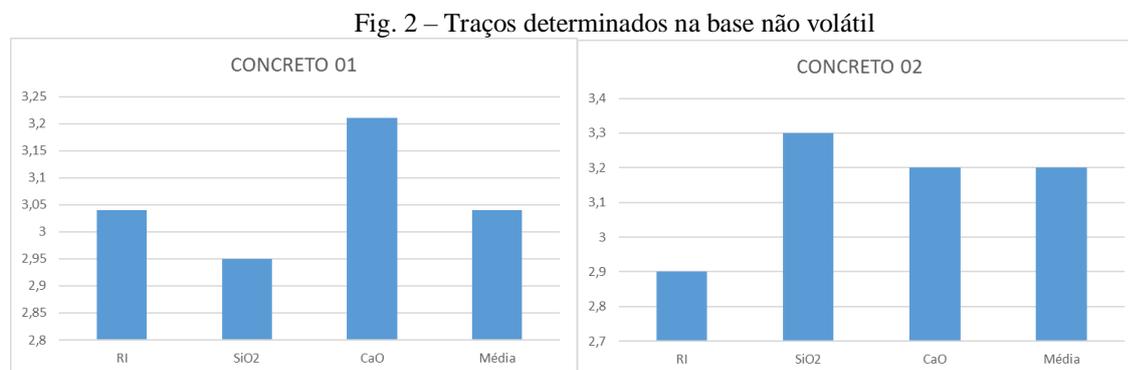
As análises por microscopia ótica de luz transmitida foram realizadas em lâminas delgadas, e permitiram a classificação de origem dos agregados presentes, identificação de seus constituintes mineralógicos com o percentual semi-quantitativo, além de verificar os minerais potencialmente reativos do ponto de vista da reação álcali-agregado, segundo a NBR 15577/3, entre outras características relacionadas à textura e relações petrogénicas. Destaca-se que a análise macroscópica precedeu as análises por microscopia ótica das amostras, antes da preparação das lâminas, observando-se características gerais do material.

Já na análise por microscopia ótica fazendo-se o uso da luz refletida, foi possível identificar os minerais opacos, e mais especificamente investigar eventuais sulfetos presentes nestes opacos em seções polidas das amostras de agregados extraídos dos concretos, sendo neste caso preparadas duas seções polidas para cada concreto. Observou-se sua textura, as alterações e inter-relações entre estes minerais presentes. Nesta etapa foi realizada uma análise tanto qualitativa como semiquantitativa.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 RECONSTITUIÇÃO DO TRAÇO

Os dados de reconstituição de traço obtidos a partir das análises químicas e do proporcionamento das frações pasta e agregado, podem ser observados na Figura 2.



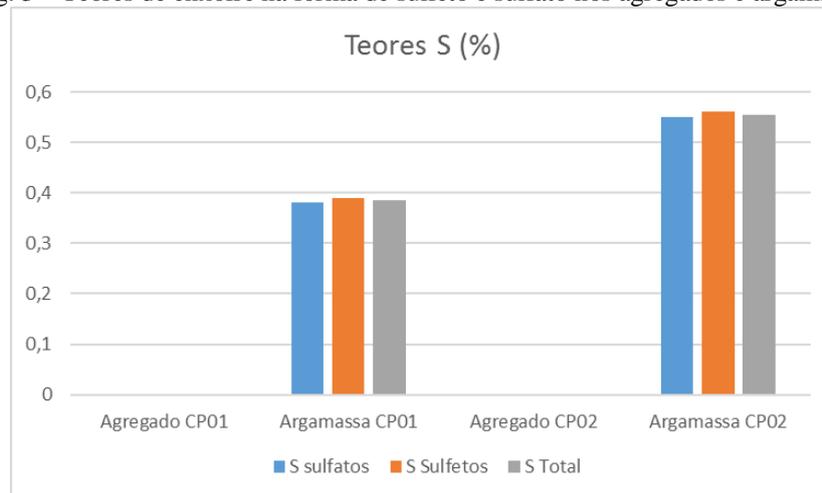
Tendo como referência os traços determinados a partir do “resíduo insolúvel”, “sílica” e “óxido de cálcio”, observa-se que não houve grande variação entre as duas amostras e, em média, os traços obtidos foram de 1:3,1 e 1:3,2 para os concretos 1 e 2, respectivamente, tratando-se de concretos com a mesma dosagem. Estimando-se o consumo de cimento destes concretos, a partir de alguns parâmetros genéricos como massa específica dos constituintes do concreto, análise química de um cimento de referência e relação a/c provável de 0,5, chega-se a um valor de 438 kg/m<sup>3</sup> e 433 kg/m<sup>3</sup> para os concretos 1 e 2, respectivamente.

Estes estudos de reconstituição do traço foram importantes para auxiliar no diagnóstico do problema dos blocos mesmo com as limitações apresentadas pela técnica. Verifica-se que o consumo de cimento estimado representa, em média,  $435 \text{ kg/m}^3$  (considerando um fck de  $35\text{MPa}$ ). Levando em consideração um rendimento térmico de  $0,12^\circ\text{C/kg/m}^3$  para o tipo de concreto em questão, tem-se uma elevação adiabática da ordem de  $52^\circ\text{C}$ . Como este concreto não foi refrigerado, a sua temperatura de lançamento pode ter atingido a casa dos  $30^\circ\text{C}$ , sendo possível, portanto que temperatura máxima, adiabática, atingida no interior do bloco de concreto tenha chegado a valores próximos de  $82^\circ\text{C}$ .

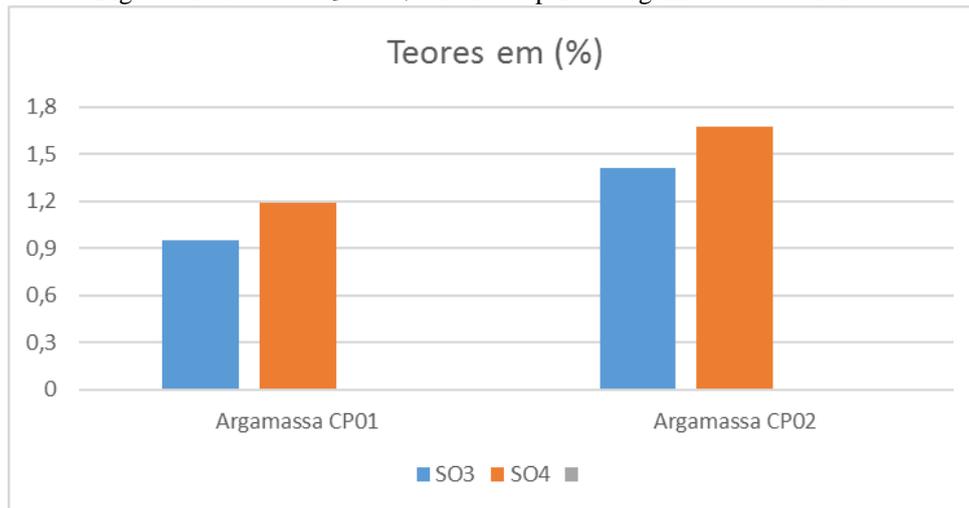
### 3.2 TEORES DE ENXOFRE

Os resultados das análises de enxofre, expressos em %, determinadas nas frações agregado e argamassa dos concretos se encontram apresentados no gráfico da Figura 3.

Fig. 3 – Teores de enxofre na forma de sulfeto e sulfato nos agregados e argamassas



Com base no estudo realizado por análise química, observa-se que os agregados não se mostram fonte de enxofre, seja de algum sulfato ou sulfeto, indicando fases presentes apenas na fração argamassa dos concretos, e nestas apenas como origem de sulfatos. Calculando o enxofre em termos de anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) nas argamassas, considerando parâmetros estequiométricos, que é o que se usa mais correntemente, têm-se os dados apresentados na Figura 4. Os dados de  $\text{SO}_3$  chegam a valores próximos de 1,0% e 1,4%, e de  $\text{SO}_4$  aproximadamente 1,2% e 1,7% para os concretos 1 e 2, respectivamente.

Fig. 4 – Teores de  $\text{SO}_3$  e  $\text{SO}_4$  calculados para as argamassas dos concretos

Analisando o consumo de cimento médio das amostras de concretos ( $435 \text{ kg/m}^3$ ) obtido por reconstituição de traço, e estimando o traço empregado nos concretos, calculando-se o teor de  $\text{SO}_3$  em relação à massa de cimento, chega-se a valores aproximados de 3% e 4,5% para as amostras de concretos 1 e 2, respectivamente, mostrando existir uma certa variação entre concretos. De qualquer forma, estes dados obtidos se apresentam relativamente elevados em se tratando dum ligante à base de cimento portland, o que indicia a possibilidade de um favorável ataque por sulfatos internos. Segundo as normas brasileiras de especificação para cimento, os valores máximos admissíveis para o trióxido de enxofre no cimento é de 4% para CPI, CPII, CPIII e CPIV. Sabe-se que os concretos da obra foram confeccionados com cimento sem adição, do tipo CP II.

Na especificação NBR 7211/2009 para agregados, também é feita uma nota a respeito de limites em termos de  $\text{SO}_4$ , como segue: “caso o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos) não exceda 0,2% ou que fique comprovado o uso de cimento Portland resistente a sulfatos, conforme a ABNT NBR 5737”, o agregado pode ser usado. Apesar desta norma tratar de sulfatos solúveis, e ainda apresentar um limite de 0,1% para o  $\text{SO}_4$  apenas no agregado, apresenta o limite acima trazido pelo concreto como um todo. Embora os agregados dos concretos não tenham apresentado qualquer contribuição de S (Figura 3), se for analisada a contribuição total do concreto no presente estudo (argamassa), os valores de  $\text{SO}_4$  se apresentam bem acima do limite de 0,2% (Figura 4) permitido, considerando neste trabalho todos os tipos de sulfato, e não apenas os solúveis, mas que podem já estar associados a fases deletérias.

### 3.3 ANÁLISES PETROGRÁFICAS

Dos resultados da avaliação sobre dos aspectos estruturais e texturas do concreto, realizados pela ABCP-SP (ABCP 2012), utilizando microscópios estereoscópico e óptico, pode-se observar que as características macroscópicas do concreto mostraram que a pouca quantidade de vazios de exsudação foi resultado de um adensamento adequado, enquanto a distribuição regular dos agregados graúdos em meio a argamassa evidencia uma boa homogeneização da mistura.

O concreto possui baixa porosidade macroscópica e os poros são predominantemente milimétricos. Observou-se a presença de poros preenchidos por material esbranquiçado maciço por vezes de aspecto gelatinoso ou por tufo de cristais aciculares (etringita). Com relação a evidências da reação álcali-agregado observou-se, de modo frequente bordas de reação em torno de agregados graúdos associados a deposição de material esbranquiçado nas superfícies de descolamento e quebra do concreto. Observou-se também a presença de microfissuras na argamassa. Na figura 05 mostra o aspecto da borda de reação no entorno do agregado graúdo e o aspecto de um poro da argamassa preenchido por etringita.

Fig. 5: Detalhes do concreto ao microscópio óptico com ampliação 100x, mostra gel da reação desenvolvendo-se ao redor do agregado graúdo e na foto 15 mostras, a luz de um ao microscópio óptico com ampliação 100x, detalhes de um poro da argamassa preenchido por cristais aciculares de etringita



### 4 CONSIDERAÇÕES

Com base no quadro fissuratório observado em campo e tendo como referência os resultados dos estudos laboratoriais nos testemunhos de concreto apresentados neste trabalho, pode-se dizer que a estrutura de concreto apresenta alterações químicas que podem ter afetado a sua integridade.

As análises visuais já indicaram algumas destas alterações, a partir dos vários poros com deposições que foram detectados além das bordas no contorno de alguns agregados. Nas análises microestruturais mais detalhadas, os produtos neoformados puderam ser confirmados,

indicando fases tanto da reação álcali-agregado como fases sulfatadas e também indicaram a presença de fases sulfatadas nas argamassas dos concretos, corroborando as análises microestruturais. Vários destes produtos já são conhecidos e se encontram relatados na literatura específica (Hasparyk, 2005, Melo, 2010).

A incidência da reação álcali-agregado pode ser explicada a partir das análises petrográficas/mineralógicas dos agregados constituintes dos concretos, onde foram detectados minerais potencialmente reativos. Em relação às fontes de sulfatos, à priori, se descarta a hipótese da causa ter sido oriunda dos agregados, seja de sulfatos ou sulfetos. Na análise mineralógica específica de sulfetos, estes minerais não se mostraram tão importantes por ter causado algum tipo de ataque por sulfatos, haja vista sua baixa incidência. Nas análises químicas dos agregados, nem os sulfatos e sulfetos foram sequer detectados.

Sabe-se que como resultado da RAA, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto” (Hasparyk, 2005).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. Rio de Janeiro, 2008.

NBR 7211: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

DURAND et al. A special history case about severe damages due to freezing and thawing combined with sulfate migration and ASR at Rapides-des-Quinze Hydraulic Structures, 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Beijing, China, International Academic Publishers, 2004.

FAMY, C.; SCRIVENER, K.L; ATKINSON, A.; BROUGH, A.R. Influence of the storage conditions on the dimensional changes of heat-cured mortars. Cement and concrete research, v. 31, p. 797-805, 2001.

FERNANDES, I.; SILVA, A. S.; GOMES, J. P. Characterization of AAR in Fagilde Dam, 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Trondheim, Norway, BROEKMANS, M.A.T.A; WIGUM, B.J. (editors), 2008.

HASPARYK, N. P. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

HASPARYK, N. P. Reação álcali-agregado no concreto. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ª Edição. São Paulo: IBRACON. Editor Geraldo Cechella Isaia, vol. II, cap. 27, p. 933-101, 2011.

HASPARYK, N. P.; KUPERMAN, Selmo Chapira.; TORRES, José Ramalho. Estudo de caso envolvendo ataque combinado da RAA e DEF em concreto de fundação de edificação. 54º Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió. Anais... São Paulo:IBRACON, 2012.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Reconstituição de traço de concreto e argamassas. Publicação, 103 - Boletim, 25, São Paulo : 1940.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - microestrutura, propriedades e materiais. 3ª Edição (1ª Edição: tradução). São Paulo: Ed. IBRACON. Revisores e Coordenadores: Nicole Pagan Hasparyk, Paulo Helene, Vladimir Antonio Paulon, 2008, 674p.

MELO, S. K. Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, UFG, Goiânia, 2010.

MELO, S. K.; HASPARYK, N. P.; CARASEK, H.; MARTINS, C. Estudo da formação da etringita tardia (DEF) em concreto de cimento Portland pozolânico por calor de hidratação. 52º Congresso Brasileiro do Concreto. Fortaleza. Anais... São Paulo:IBRACON, 2010.

MELO, S. K.; HASPARYK, N. P.; CARASEK, H.; SILVA, H. H. A. B.; MARTINS, C. Influência do calor de hidratação na formação da etringita tardia (DEF) em concreto de cimento Portland pozolânico. 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis. Anais... São Paulo:IBRACON, 2011.

OWSIAK, Z. Effect of alkali-silica reaction on the rate delayed ettringite formation in steam cured mortars, 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Trondheim, Norway, BROEKMANS, M.A.T.A; WIGUM, B.J. (editors), 2008.

SHAYAN, A.; AL-MAHAIDI; R.; XU, A. Durability and strength assessment of AAR-affected bridge deck planks. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in

Concrete. Trondheim, Norway, BROEKMANS, M.A.T.A; WIGUM, B.J. (editors), 2008.  
QUARCIONI, V. A. Reconstituição de traço de argamassas: atualização do Método IPT. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998, 188 p.

SHAYAN, A.; MORRIS, H. Combined deterioration problems in a coastal bridge in NSW, Australia, 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Beijing, China, International Academic Publishers, 2004.

SILVA, A. S.; GONÇALVES, A. F.; PIPA, M. Diagnosis and prognosis of Portuguese concrete railway sleepers degradation – a combination of ASR and DEF. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Trondheim, Norway, BROEKMANS, M.A.T.A; WIGUM, B.J. (editors), 2008.

TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. London: Thomas Telford, 2nd edition, 1997.

TAYLOR, H.F.W.; FAMY, C.; SCRIVENER, K.L. Delayed ettringite formation. Cement and Concrete Research, v.31, p.683-693, 2001.