

A problemática da avaliação da reactividade aos álcalis de agregados graníticos para betão



A. Santos Silva¹



Isabel Fernandes²



Nélia Castro³

RESUMO

A constatação, essencialmente na última década, da existência em Portugal de várias estruturas de betão afectadas por reacções álcalis-sílica em que, nalguns casos, os agregados empregues eram considerados não reactivos aos álcalis, desencadeou a necessidade de avaliar a adequação dos métodos de ensaio então utilizados, promover o confronto com novos métodos de ensaio e comparar os resultados de laboratório com o desempenho de alguns agregados em estruturas de betão existentes.

Deste trabalho resultou a elaboração pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) duma especificação, E 461-2004, que apresenta uma nova metodologia para a avaliação da reactividade aos álcalis dos agregados. Esta metodologia apresenta contudo a limitação de não ser adequada à aplicação a rochas granitoides, consideradas de reacção lenta/retardada. Nesses casos, é proposta uma outra metodologia baseada em ensaios de média/longa duração que tem o inconveniente do tempo de resposta, muitas vezes incompatível com o ritmo da construção.

Este trabalho pretende chamar a atenção para a problemática da reacção álcalis-sílica em estruturas de betão em Portugal contendo agregados graníticos, particularmente utilizado no Norte e também em algumas regiões do Centro de Portugal Continental, bem como da avaliação da reactividade aos álcalis deste tipo de rocha. Apresentam-se resultados de ensaios de barra de argamassa e de petrografia, que evidenciam a necessidade de se promover atempadamente a avaliação da reactividade dos agregados por ensaios alternativos.

PALAVRAS-CHAVE

Reacção álcalis-sílica, agregados, granito, betão, petrografia.

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, ssilva@lnec.pt

² Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geologia, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, Portugal, ifernandes@fc.up.pt

³ NTNU - Norwegian University of Science and Technology, 7491 Trondheim, Noruega, Estudante de Doutoramento, nelia.castro@ntnu.no.

1. INTRODUÇÃO

A barragem de Pracana foi a primeira estrutura portuguesa na qual a ocorrência de reacção álcalis-silica (RAS) foi detectada, no início dos anos 80, tendo a reacção sido diagnosticada na primeira obra de arte apenas uma década mais tarde, no Viaduto Duarte Pacheco em Lisboa. Actualmente, existem já algumas dezenas de estruturas recenseadas como estando afectadas por RAS em Portugal, sendo previsível que o seu número venha a aumentar, tendo em consideração os condicionalismos geológicos regionais e a não aplicação do normativo nacional à selecção de agregados, que em alguns casos se mostra também insuficiente.

Em simultâneo com a identificação do fenómeno no Viaduto Duarte Pacheco, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) empreendeu diversos estudos de investigação relacionados com o desenvolvimento de metodologias de diagnóstico e prognóstico da RAS no betão, o estudo de medidas mitigadoras desta forma de degradação e a análise dos factores que podem condicionar a RAS em Portugal [1].

Deste trabalho resultou a necessidade de se alterar o normativo em vigor, tendo sido elaborada pelo LNEC a especificação E 461-2004 [2], que foi incluída no Documento Nacional de Aplicação da nova Norma Portuguesa para o betão, NP EN 206-1, 2007 [3], e que introduz uma nova metodologia para a avaliação da reactividade aos álcalis dos agregados. Essa metodologia, que visa a obtenção dum resultado fiável e rápido, apresenta contudo a limitação de não ser adequada a rochas granitoides, consideradas de reacção lenta/retardada. Para esses casos é proposta a análise petrográfica e uma outra metodologia baseada em ensaios de expansão de betão de média/longa duração, que têm o inconveniente do tempo de resposta, muitas vezes incompatível com o ritmo da construção.

O granito é, a seguir ao calcário, o tipo de rocha mais empregue como agregado para betão em Portugal, sendo particularmente utilizado no Norte e também em algumas regiões do Centro do território Continental. Face a esta problemática torna-se imperioso alertar os produtores de agregados e de betão para a necessidade de se promover atempadamente a caracterização da reactividade dos agregados para betão de reactividade lenta ou retardada aos álcalis, de que são exemplo os granitos.

Este trabalho apresenta resultados de caracterização de agregados graníticos utilizados em estruturas portuguesas afectadas por processos expansivos relacionados com a RAS que evidenciam que tanto a análise petrográfica (LNEC E 415-1993 [4]) como o ensaio acelerado de barra de argamassa (ASTM C 1260 [5]) não permitem confirmar de forma inequívoca a reactividade desses agregados aos álcalis, sendo necessário desencadear desde já um plano a nível nacional que envolva a realização de ensaios de longa duração em condições aceleradas e de exposição real.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Agregados graníticos

O granito é uma rocha plutónica composta essencialmente por quartzo e feldspatos, em que o feldspato potássico é predominando sobre o feldspato calco-sódico (plagioclase), e aos quais estão associados em quantidades bem menores as micas (moscovite e biotite ou apenas biotite).

Embora sejam considerados na maior parte dos Países como sendo inócuos ou com baixa probabilidade de serem reactivos aos álcalis, os granitos são citados em várias referências na bibliografia internacional como sendo potencialmente reactivos. A sua reactividade é em geral considerada de velocidade muito lenta estando relacionada com a ocorrência de deformação nos cristais de quartzo e também com a presença de quartzo microcristalino resultante de processos de subgranulação e/ou recristalização. A deformação do quartzo, o mineral geralmente mais abundante no

granito, é caracterizada por apresentar extinção ondulante (Fig. 1) que é uma medida do deslocamento do arranjo óptico na malha cristalina do grão [6].



Figura 1. Quartzo exibindo extinção ondulante, observado em luz polarizada (NX). As imagens correspondem a diferentes posições de rotação da platina do microscópio petrográfico.

A dimensão dos grãos de quartzo tem sido também muito discutida, nomeadamente como sendo um dos factores que mais contribui para a sua reactividade aos álcalis. É exemplo o quartzo microcristalino de recristalização, constituída por cristais de quartzo muito pequenos produzidos por subgranulação e/ou recristalização, de dimensões inferiores a 40 μm e de contornos irregulares, que se observam na orla dos cristais primários da rocha (Fig. 2) [6].

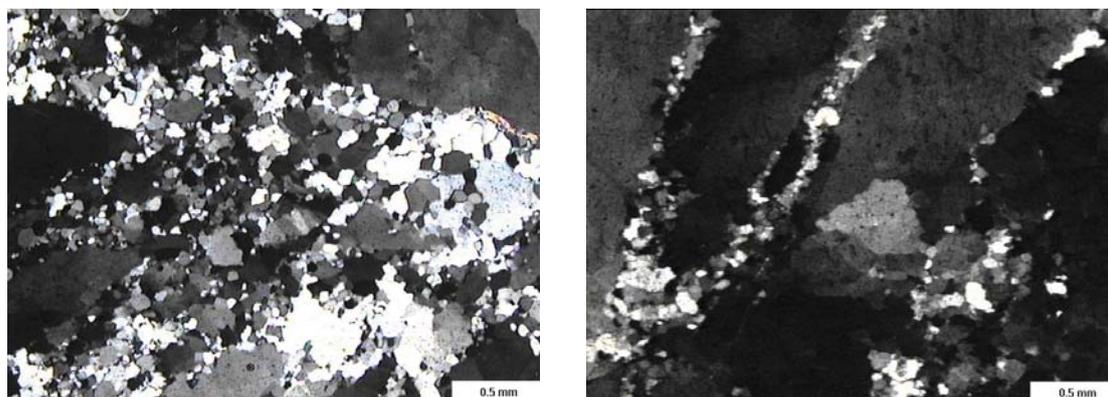


Figura 2. Quartzo microcristalino nos bordos de cristais de grandes dimensões, em luz polarizada (NX).

O granito é, a seguir ao calcário, o tipo de rocha mais empregue como agregado para betão (Fig. 3), sendo particularmente utilizado no Norte e também em algumas regiões do Centro de Portugal Continental, onde é mais abundante (Fig.4). De realçar que é também nestas regiões que se atingem os maiores valores de pluviosidade anual e que estão concentrados os mais elevados potenciais hidroeléctricos do país, o que torna estas regiões como sendo de risco elevado relativamente à RAS.

2.2 Métodos de ensaio

O desempenho em serviço dum determinado agregado é considerado o método mais fidedigno para conhecer a reactividade aos álcalis dum agregado para betão. No entanto, as informações desse desempenho podem não ser conclusivas, já que dependem, entre outros factores, das condições de exposição da estrutura, do teor em álcalis do betão utilizado, da mistura de agregados utilizada, do tipo de estrutura, etc. Em resultado disso, os agregados são normalmente avaliados por métodos laboratoriais realizados sob condições controladas. A necessidade de obter, num curto espaço de tempo, informação acerca da reactividade do agregado, antes de ser utilizado numa determinada estrutura, obrigou à adopção de métodos acelerados e reprodutíveis.

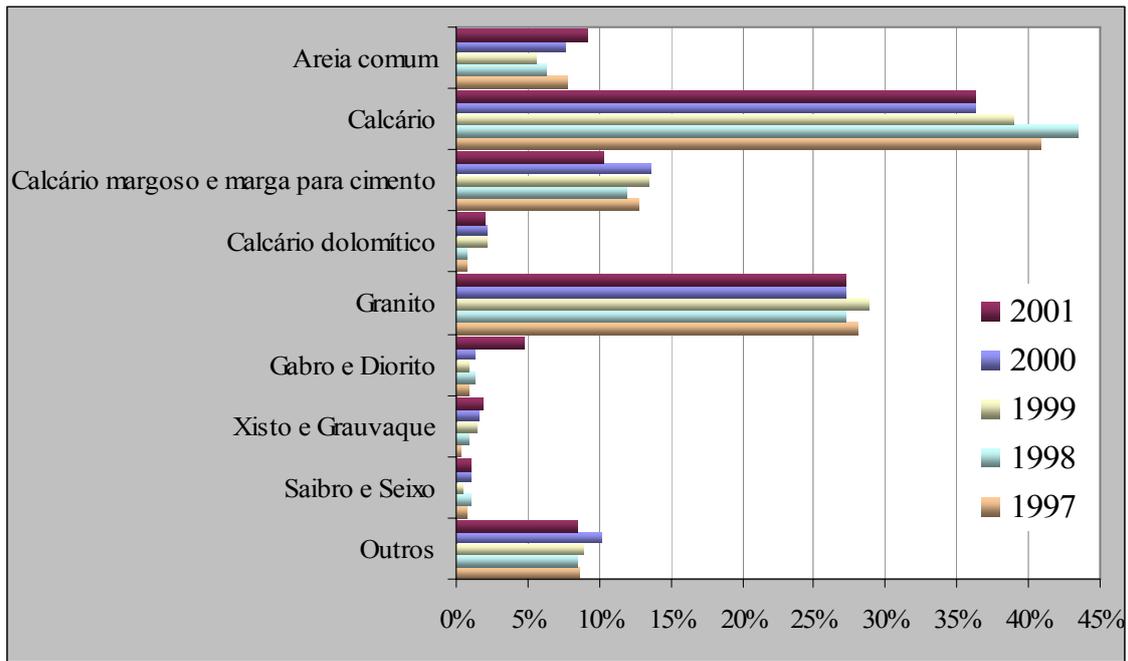


Figura 3. Volume da produção de rochas industriais de 1997 a 2001 [1].

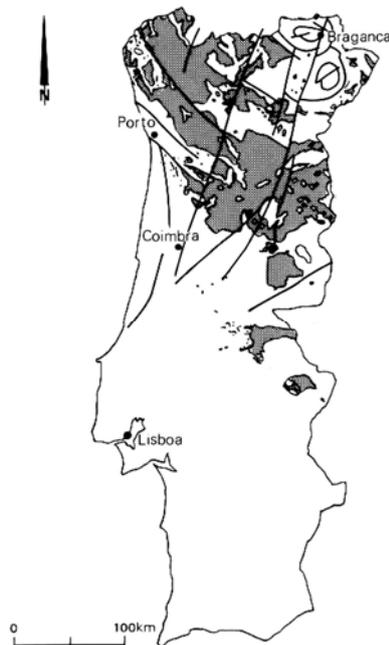


Figura 4. Principais afloramentos de granito em Portugal [7].

Actualmente existem diferentes métodos de ensaio, uns que necessitam de intervenção muito especializada, caso da análise petrográfica, e outros de âmbito mais geral, caso dos ensaios de expansão. Em Portugal, os métodos de ensaio recomendados para a avaliação da reactividade aos álcalis dos agregados, além da análise petrográfica conforme a Especificação LNEC E 415, baseado na norma ASTM C 295 [8], são os preconizados na Especificação LNEC E 461, e incluem o método acelerado da barra de argamassa ASTM C 1260 e método de prismas de betão RILEM AAR-3 e método acelerado de prismas de betão RILEM AAR-4 [9,10]. No Quadro 1, apresenta-se um resumo

das especificações de cada um destes métodos, incluindo os critérios de classificação da reactividade, bem como as principais vantagens e limitações de cada um deles.

Quadro 1. Métodos de ensaio para a avaliação da reactividade aos álcalis de agregados para betão.

Método de ensaio	Modo operativo	Tipo de amostra	Critério de classificação	Vantagens e limitações
Análise petrográfica (ASTM C 295, LNEC E 415, RILEM AAR-1 [11])	Observação visual e ao microscópio petrográfico, complementada com outros métodos, como a difracção de raios X, análise térmica diferencial, espectrofotometria de infravermelhos ou microscopia electrónica.	Fragmentos, superfície polida, ou lâmina delgada.	Baseado na identificação e no teor de minerais reactivos aos álcalis.	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido; - A confiança da análise depende da experiência do petrógrafo; - Dificuldade na identificação de alguns minerais reactivos; - Ausência dum valor recomendado como critério de classificação; - Recomendação da realização de ensaios complementares.
Ensaio de expansão acelerado da barra de argamassa (ASTM C 1260)	Fabrico de provetes de argamassa, que são depois conservados em solução de hidróxido de sódio 1N a 80° C durante 14 dias. Realização de medidas de expansão a idades definidas.	3 barras (prismas) de argamassa de dimensões 25 x 25 x 285 mm.	<ul style="list-style-type: none"> - Não reactivo se aos 14 dias a Exp. < 0.10%; - Potencialmente reactivo se aos 14 dias 0.10%<Exp.<0.20%. - Reactivo se aos 14 dias a Exp. > 0.20%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio rápido (16 dias); - Permite avaliar a eficácia de adições minerais; - Não detecta a reactividade de agregados de reactividade lenta e retardada; - Considerado um ensaio severo, tem tendência a classificar como reactivos agregados com bom desempenho em serviço.
Ensaio de expansão de primas de betão (RILEM AAR-3)	Fabrico de provetes de betão com a combinação de agregados a ensaiar e com um teor em álcalis do betão de 5.5kg/m ³ , que depois são conservados em HR>95% e a 38° C durante 12 meses. Realização de medidas de expansão a idades definidas.	3 barras (prismas) de betão de dimensões 75 x 75 x 250 mm.	Reactivo se a 1 ano a Exp.>0,05%.	<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio lento; - Vantagem de se poder utilizar a composição de betão a empregar; - Permite avaliar a eficácia de adições minerais; - O limite de expansão parece ser efectivo apenas para agregados de reactividade “normal”; para agregados de reactividade lenta o ensaio deverá ser alargado até atingir a zona de patamar na curva de expansão.
Ensaio de expansão acelerado de primas de betão (RILEM AAR-4)	Idêntico ao RILEM AAR-3 apenas com a alteração da temperatura de ensaio ser de 60° C em vez dos 38° C do anterior.	3 barras (prismas) de betão de dimensões 75 x 75 x 250 mm.	Reactivo se às 20 semanas a Exp. > 0,03%.	<ul style="list-style-type: none"> - Desvantagem o tempo de resposta; - Vantagem de se poder utilizar a composição de betão a empregar; - Permite avaliar a eficácia de adições minerais; - Resultados internacionais de ensaios interlaboratoriais sugerem que a expansão às 15 semanas pode dar uma previsão efectiva da reactividade do agregado. Os mesmos resultados indicam que parece ser efectivo para agregados considerados de reactividade lenta [12].

Os métodos acelerados de barra de argamassa (ASTM C 1260, que é idêntico ao RILEM AAR-2 [13] - Fig. 5) e de primas de betão (RILEM AAR-4 – Fig. 6) são actualmente considerados a nível internacional os mais eficazes para a avaliação da reactividade aos álcalis de agregados para betão. Estes métodos têm ainda a vantagem de fornecer resultados relativamente rápidos. Quanto ao método petrográfico que produz também resultados rápidos, tem como limitação a reprodutibilidade e a necessidade de pessoal qualificado para a sua execução.



Figura 5. Ensaio ASTM C 1260: Leitura do comprimento dos provetes, imersão em água e colocação em estufa a $80 \pm 2^\circ \text{C}$ [1].

2.3 Granitos estudados

As quatro amostras de granito a que se refere este artigo englobam materiais previamente utilizados em estruturas em que foi diagnosticada a presença de RAS. Trata-se de estruturas na sua maioria hidráulicas e num caso uma ponte [14], todas situadas na região norte-centro de Portugal Continental. Para além destas quatro amostras cujo desempenho em serviço é conhecido, outras amostras foram analisadas quer pelo método petrográfico como pelo método acelerado da barra de argamassa, tendo apresentado resultados idênticos aos das quatro amostras que a seguir se descrevem.

Não se podendo divulgar a origem das amostras por motivos deontológicos e de confidencialidade, optou-se por referenciar os agregados pela designação do concelho de origem – Quadro 2.



Figura 6. Ensaio RILEM AAR-3: Contentor com os prismas de betão e colocação em estufa a $38 \pm 2^\circ \text{C}$ [1].

Quadro 2. Designação e tipo de amostras de granito estudadas.

Identificação	Características
Mogadouro	Granito de duas micas, de grão médio
Vila Real	Granito de duas micas, de grão fino
Sertã	Granito de duas micas, predominantemente moscovítico, de grão médio
Nisa	Granito de duas micas, predominantemente biotítico, de grão grosseiro

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo dos resultados obtidos pela análise petrográfica, ensaio de expansão acelerado de barras de argamassa e desempenho em serviço apresentam-se no Quadro 3.

Quadro 3. Resultados da reactividade aos álcalis das amostras de granito estudadas.

Identificação	Análise petrográfica LNEC E 415	Ensaio de expansão ASTM C 1260	Desempenho em serviço
Mogadouro	Reactivo	Não Reactivo	Reactivo
Vila Real	Reactivo	Não Reactivo	Reactivo
Sertã	Reactivo	Não Reactivo	Reactivo
Nisa	Não Reactivo	Não Reactivo	Reactivo

Como se pode constatar o ensaio de expansão ASTM C 1260 não permite prever a reactividade aos álcalis de agregados graníticos. Vários especialistas internacionais têm reclamado a necessidade de se alterarem os limites deste ensaio para agregados de reactividade lenta e retardada, como são exemplo

os granitos [15]. As tentativas nesse sentido realizadas com agregados graníticos nacionais não conduziram a uma boa correlação entre o valor de expansão e o desempenho do agregado em serviço, razão pela qual no normativo nacional em vigor se refere que este ensaio não deva ser aplicado a este tipo de rochas [1, 2].

No que se refere à análise petrográfica verifica-se que, em geral, esta técnica permite avaliar correctamente a reactividade potencial aos álcalis. No entanto, e como não há regra sem excepção, verificou-se um caso em que este ensaio não comprovou a reactividade do agregado em serviço. Esta aparente insuficiência resulta de vários factores, como sejam a amostragem, a perícia do operador e a própria reprodutibilidade do ensaio. Com efeito, a representatividade da amostra constitui um importante factor a considerar, sendo que as características de uma rocha podem variar à escala da pedreira, condicionando os resultados da análise petrográfica e de todos os resultados laboratoriais subsequentes.

Os dados obtidos, associado ao aparecimento nos últimos anos de um número cada vez maior de estruturas de betão com agregados graníticos afectadas por RAS, obriga a uma tomada de atenção do meio técnico nacional, nomeadamente aos produtores de agregados e de betão, para a necessidade de se empreenderem estudos com outros métodos de ensaio que são necessariamente mais demorados do que os atrás mencionados.

Os ensaios de expansão de prismas de betão também não estão isentos de falhas [16]. Aliás, assiste-se actualmente nos países mais desenvolvidos [17, 18] a grandes campanhas de ensaios realizadas em condições de exposição natural de médio-longo prazo (5-10 anos), com o objectivo de desenvolver ensaios mais fidedignos e capazes de reproduzir o desempenho dos seus agregados em condições reais. Fica o desafio à nossa indústria.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o suporte financeiro relativo ao Projecto EXREACT (PTDC/CTM/65243/2006) e ao GeoREMAT, Geological Resources and Materials, do Centro de Geologia da Universidade do Porto.

REFERÊNCIAS

[1] SANTOS SILVA, A. - Degradação do betão por reacções álcalis-silica. Utilização de cinzas volantes e metacaulino para a sua prevenção, Tese Doutoramento, 2005, 339 p. ISBN-13: 978-972-49-2083-2.

[2] LNEC E 461 - Betão. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas, Especificação LNEC, 2004, Lisboa, p. 7.

[3] NP EN 206-1, Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade, IPQ, 2007, p. 72.

[4] LNEC E 415 - Inertes para argamassas e betões – Determinação da reactividade potencial com os álcalis. Análise petrográfica, Especificação LNEC, 1993, p. 6.

[5] ASTM C 1260 - Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method), ASTM International, West Conshohocken, United States, p. 5.

[6] FERNANDES, I. - Caracterização petrográfica, química e física de agregados graníticos em betões. Estudo de casos de obra, Tese Doutoramento, 2005, 334 p.

- [7] FERNANDES, I. [et al.] - Petrographic analysis of hardened concrete with granitic aggregates, Proceedings of the 9th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 2003, Trondheim, CD-rom, p. 14.
- [8] ASTM C 295 - Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete, ASTM International, West Conshohocken, United States, p. 8.
- [9] RILEM TC 191-ARP - RILEM Recommended test method AAR-0: Detection of alkali-reactivity potential in concrete – Outline guide to the use of RILEM methods in assessments of aggregates for potential alkali-reactivity, Materials and Structures, vol. 36, 2003, p. 472-479.
- [10] RILEM - AAR-3 - Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Method for aggregate combinations using concrete prisms, Materials & Structures, vol. 33, 2000, p. 283-293.
- [11] RILEM - AAR-1 - Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Petrographic method, Materials & Structures, vol. 36, 2003, p. 480-496.
- [12] NIXON, P. [et al.] - The UE “PARTNER” project- European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates. Final results and recommendations, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, 2008, p. 300-309.
- [13] RILEM - AAR-2 - Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Ultra-accelerated mortar bar test, Materials & Structures, vol. 33, 2000, p. 283-293.
- [14] CASTRO, N. - Granitic aggregates for concrete. Attempt of correlation between the granite age and the potential reactivity to alkalis of concrete, Tese de Mestrado em Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos, 2008, p. 121.
- [15] SHAYAN, A. - Field evidence for inability of ASTM C 1260 limits to detect slowly reactive Australian aggregates, Australian Journal of Civil Engineering, 3, 2007, p. 13-26.
- [16] IDEKER, J. [et al.] - The current state of the accelerated concrete prism test, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, 2008, p. 140-150.
- [17] BORCHERS, I. and MÜLLER, C. - Field site tests established in the partner project for evaluating the correlation between laboratory tests and field performance, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, 2008, p. 542-551.
- [18] BOKERN, J. - Concrete tests for asr assessment: Effects of testing environment on preconditions for an asr and transferability of test results, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, 2008, p. 532-541.