

Reacções álcalis-agregado em betão: contributos na avaliação da reactividade aos álcalis de agregados para betão

António Santos Silva

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Lisboa.

Dora Soares

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Lisboa.

Lina Matos

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Lisboa.

Isabel Fernandes

Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, DGAOT e Centro de Geologia, Porto.

M. Manuela Salta

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Lisboa.

RESUMO: As reacções álcalis-agregado (RAA) no betão são reacções químicas que ocorrem entre certos tipos de minerais dos agregados e os iões alcalinos e hidroxilos presentes na solução intersticial da pasta de cimento do betão. Estas reacções, que envolvem a dissolução das formas amorfas ou pobremente cristalinas da sílica em meio alcalino, resultam na formação de um gel higroscópico alcalino que absorve água e expande, originando tensões internas no betão que podem resultar na sua fissuração, [Santos Silva, A., 2006], estudos efectuados sobre a causa de degradação de estruturas de betão em Portugal, nomeadamente pontes e barragens, indicam que o desempenho em obra de alguns agregados não corresponde à avaliação prévia realizada.

Estes factos motivaram o desenvolvimento de um projecto de investigação para o estudo sistemático da reactividade aos álcalis de agregados para betão.

Este trabalho tem como objectivo apresentar os primeiros resultados do projecto, nomeadamente de diferentes métodos de avaliação da reactividade aos álcalis de agregados para betão, referindo em particular da sua aplicabilidade a diversos tipos de rocha.

1 INTRODUÇÃO

As reacções álcalis-agregado, identificadas desde 1940, são reacções químicas que se desenvolvem entre os constituintes reactivos dos agregados e os iões alcalinos e hidroxilos presentes na solução intersticial do betão. Se estas reacções podem ser em geral benéficas nas argamassas de cal antigas, no betão de cimento portland têm consequências muito nefastas. Em particular, as reacções álcalis-sílica (RAS), que envolvem rochas e minerais contendo formas reactivas de sílica, são consideradas actualmente como a causa de deterioração precoce dum número cada vez maior de estruturas de betão. A RAS, que origina a expansão e a fissuração do betão, facilita

significativamente outros processos de deterioração, nomeadamente, no caso do betão armado, a corrosão das armaduras.

A RAS corresponde essencialmente a um ataque a certas formas de sílica reactiva, possuindo uma estrutura mais ou menos desordenada e por isso instável num meio de elevado pH, pelos iões alcalinos (Na^+ e K^+) e hidroxilos (OH^-) presentes na solução intersticial do betão. A velocidade do ataque dependerá da concentração dos hidróxidos alcalinos na solução intersticial e da estrutura da sílica. O quartzo “bem cristalizado” é geralmente considerado não reactivo em solução alcalina. De facto, quando grãos de quartzo são colocados na solução intersticial do betão, o ataque pelos hidróxidos alcalinos ocorre essencialmente à sua superfície. A velocidade de penetração dos hidróxidos alcalinos na estrutura bem cristalizada do quartzo é baixa devido à sua pequena superfície específica, enquanto no quartzo criptocristalino já é maior devido ao aumento da superfície específica. O mesmo comportamento é observado em grãos de grandes dimensões de quartzo que tenham defeitos ou estejam deformados. Esta situação sugere que nenhum agregado silicioso possa ser considerado à partida “inerte” no que se refere à RAS [Fournier and Bérubé, 1993; Broekmans, 2004].

Actualmente, existem já algumas dezenas de estruturas recenseadas como estando afectadas por RAS em Portugal, sendo previsível que este número venha a aumentar face aos condicionamentos geológicos e à não aplicação, que nalguns casos é também insuficiente, do dispositivo normativo nacional. Estes motivos tornam necessária a consciencialização do meio técnico nacional para esta problemática, bem como a necessidade de se inventariar e caracterizar os recursos minerais como fontes de agregados para betão, nomeadamente em termos da correcta avaliação da reactividade potencial aos álcalis dos agregados para betão.

2 METODOLOGIA

A metodologia adoptada neste estudo tem por objectivo criar uma base de dados que permita dar resposta às actuais e futuras necessidades no que se refere ao comportamento dos agregados em obra. A reactividade potencial aos álcalis dos agregados pode ser avaliada por diversos métodos de ensaio. A petrografia indica as formas de sílica potencialmente reactivas presentes nos agregados, no entanto, pode ser de difícil quantificação, devendo ser complementada por ensaios de expansibilidade em argamassa (ex: ASTM C 1260) ou em betão (ex: RILEM AAR-3 ou RILEM AAR-4).

A metodologia actual é baseada na especificação E 461-2007 que é muito semelhante às recomendações de alguns países nomeadamente aqueles onde mais se tem investido e investigado na procura de soluções para a mitigação desta forma de degradação do betão. No entanto esta metodologia apresenta ainda algumas limitações, designadamente por não ser adequada a todos os tipos de rocha, como por exemplo as granitóides. É neste contexto que surge o projecto de investigação FCT Improve – Melhoria do desempenho de agregados para a inibição das reacções álcalis-agregado no betão (PTDC/ECM/115486/2009).

Tendo neste artigo sido seleccionados 4 granitos de diferentes regiões, um dolomito e dois agregados de referência, um reactivo e outro não reactivo, apresentam-se os resultados obtidos por diferentes métodos de análise da reactividade, nomeadamente análise petrográfica e ensaios de expansão de argamassa e de betão.

2.1 Análise petrográfica

A petrografia consiste no estudo, ao microscópio petrográfico, da composição mineralógica e textural dos agregados. Através deste estudo é possível recolher informação sobre: a forma dos cristais, clastos e grãos, a textura do próprio agregado; grau de alteração; grau de fissuração; formas de sílica reactiva e minerais fornecedores de álcalis. A análise petrográfica, sendo uma técnica que requer obrigatoriamente conhecimentos geológicos de base, está porém muito dependente da experiência do observador. No sentido de obviar algumas destas dificuldades existem algumas normas de ensaio que procuram uniformizar conceitos e metodologias [ASTM C 295; LNEC E 415; RILEM AAR-1].

2.2 Ensaio de expansão

Os ensaios de expansão permitem a determinação da reactividade potencial aos álcalis de agregados na medida em que se assume que se houver expansão nos provetes, tal se deve também à formação de gel da RAS. Estes ensaios medem a variação de comprimento de provetes de argamassa, ou betão, com recurso a um comparador que é constituído por um deflectómetro e respectivo suporte metálico.

2.2.1. Ensaio acelerado da barra de argamassa [ASTM C1260 ou RILEM AAR-2]

Este ensaio promove uma avaliação da reactividade aos álcalis dum agregado para betão e consiste em avaliar o comportamento de um agregado, depois de britado até atingir uma granulometria inferior a 4,75 mm, que é utilizado na confecção de provetes prismáticos de argamassa de dimensões 250mm x 250mm x 285mm. Após desmoldagem, os prismas são colocados em água a 23° C e introduzidos numa estufa a 80° C. Passadas 24 horas é feita a medida inicial (valor zero) de cada provete, sendo depois introduzidos numa solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol/L a 80° C onde permanecem 14 dias, sendo realizadas nesse período no mínimo 4 medidas de expansão. O agregado é considerado reactivo se a expansão ao fim de 14 dias de imersão for superior a 0,20%. Se o resultado aos 14 dias estiver compreendido entre 0,10% e 0,20%, é aconselhado que se prolongue o ensaio até aos 28 dias.

2.2.2 Método para combinações de agregados usando prismas de betão – ensaio lento [RILEM AAR-3 ou ASTM C 1293]

O ensaio de prisma de betão consiste em avaliar o comportamento de um agregado grosso ou fino, ou a mistura de agregados, em provetes prismáticos de betão de dimensões 75mm x 75mm x 250 ± 50 mm. Os provetes são feitos com um cimento de elevado teor em álcalis, normalmente superior a 0,9% de óxido de sódio equivalente (Na₂Oeq.), ajustando depois o teor de álcalis com a adição de hidróxido de sódio à água de amassadura, para atingir um teor de 1,25% Na₂Oeq., relativamente à massa de cimento. Os provetes, depois de desmoldados, são conservados durante 12 meses numa câmara a 38° C e com humidade relativa (HR) superior a 95%, efectuando-se medidas de expansão a idades definidas, sendo o agregado considerado reactivo se o valor de expansão aos 12 meses for superior a 0,05%.

2.2.3 Método para combinações de agregados usando prismas de betão - ensaio acelerado [RILEM AAR-4 ou NF P18-454]

Este ensaio é semelhante ao ensaio RILEM AAR-3 com excepção da temperatura e da duração do ensaio, que passa de 38° C para 60° C e cujo tempo é reduzido de 1 ano para 3 meses, efectuando-se medidas de expansão a idades definidas, sendo o agregado considerado reactivo se o valor de expansão aos 3 meses for superior a 0,02%.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos em cada um dos ensaios para os agregados referidos, são apresentados no [Quadro 1].

Para o ensaio RILEM AAR-3 são apresentados apenas os resultados obtidos aos 6 meses de ensaio dado que os ensaios ainda não estão totalmente concluídos.

Neste quadro é ainda possível ver uma possível classificação de potencial reactividade com base nos resultados obtidos em cada um dos ensaios, incluindo o da análise petrográfica.

Quadro 1. Compilação dos resultados obtidos nos ensaios de expansão e na análise petrográfica

AGREGADO	A. PETROG.		ASTM			AAR					
	Reactividade	Formas de sílica reactiva	C 1260 (80° C)		Reactividade	AAR-3 (38° C)			AAR-4 (60° C)		Reactividade
			Expansão (%)			Expansão (%)			Expansão (%)		
			14 dias (> 0,10%)	28 dias (> 0,20%)		3 Meses	6 Meses	1 ano (> 0,05%)	3 e 5 meses (> 0,02%)		
Brita Reactiva	R	qz. cript	0,30	0,51	R	-	-	-	-	-	-
Brita Não Reactiva	N	-	0,00	0,00	N	-	-	-	-	-	-
Granito 1	P	-	0,03	0,05	N	0,00	0,01	Ensaio em curso	-0,01	0,01	N
Granito 2	P	qz def.	0,02	0,04	N	0,01	0,02		0,03	0,04	R
Granito 3			0,01	0,03	N	0,00	0,00		0,02	0,03	R
Granito 4			0,02	0,03	-	0,00	0,00		0,05	0,07	R
Dolomito	P	qz def.	0,02	0,03	N	0,01	0,02	0,02	0,02	R	

(qz cript. – quartzo criptocristalino; qz def – quartzo deformado).
(R – reactivo; PR – potencialmente reactivo; NR – não reactivo).

3.1 Análise petrográfica

De acordo com critérios internacionais recentes [RILEM, AAR-1] a ocorrência de extinção ondulante nos cristais de quartzo apenas sugere a presença de quartzo microcristalino ou criptocristalino mas não é recomendada para quantificação da reactividade potencial. Refira-se que nos granitos é frequente a ocorrência de extinção ondulante nos cristais de quartzo, o que se deve ao processo de crescimento dos mesmos, não resultando necessariamente de deformação. Neste contexto, foi dada atenção aos cristais de quartzo de pequena dimensão, mais susceptíveis de poderem intervir em reacções químicas do tipo álcalis-sílica.

3.1.1 Agregado de brita siliciosa

Este agregado foi classificado com reactivo pela análise petrográfica por ser constituído por grãos de rocha de quartzito (Qz), milonito (MI) e cherte que possuem formas de sílica potencialmente reactivas, nomeadamente quartzo estirado e criptocristalino, 'Figura 1'.

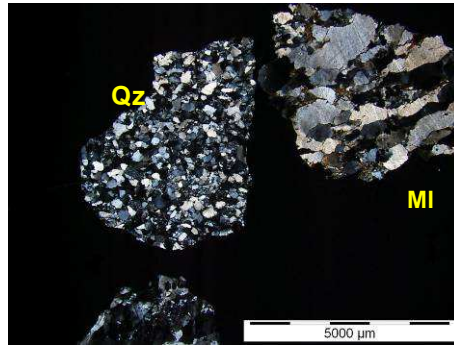


Figura 1. Imagem geral da amostra onde se observa a existência de formas de sílica reactiva, imagem em nicóis Xs.

3.1.2 Agregado de brita calcária

Este agregado foi classificado com não reactivo pela análise petrográfica por não ser constituído por minerais com formas de sílica potencialmente reactivas, é uma rocha carbonatada (calcário) com ausência de deformação, 'Figura 2'.

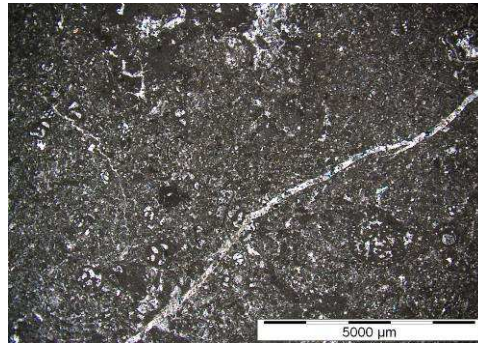


Figura 2. Imagem geral da amostra onde se observa a inexistência de formas de sílica reactiva, nicóis Xs.

3.1.3 Granito 1

É uma rocha siliciosa, composta por quartzo, feldspato potássico e plagioclase, biotite, moscovite e clorite. Como minerais acessórios está presente o zircão. Alguns cristais de feldspato alcalino (microclina e plagioclase) encontram-se alterados, surgindo assim a presença de sericite e minerais de argila. Este agregado ainda que não apresente formas de sílica deformadas ou amorfas, tem uma granularidade muito baixa o que pode conferir à rocha um comportamento reactivo, deste modo e como segurança é mais prudente classificar esta rocha como potencialmente reactiva, 'Figuras 3'.

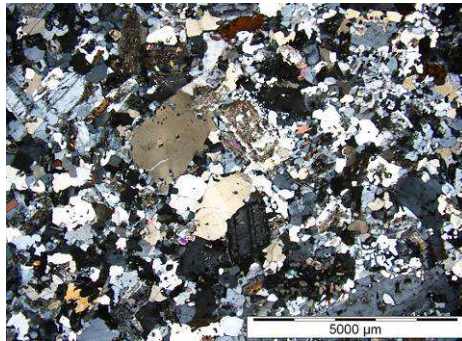


Figura 3. Vista geral da amostra, onde se verifica a ausência de formas de sílica reactiva, imagem em nicóis Xs.

3.1.4 Granito 2

Agregado de natureza siliciosa, composto por quartzo, plagioclase, biotite e anfíbola, como minerais acessórios, encontram-se apatite, epídoto, zircão e minerais opacos. Alguns cristais dos minerais principais encontram-se alterados, surgindo assim a presença de sericite e clorite. Este agregado foi classificado pela petrografia como potencialmente reactivo uma vez que alguns cristais de quartzo apresentam extinção ondulante 'Figura 4' e desenvolvimento de subgranulação.



Figura 4. Imagem onde se observa a extinção ondulante dos cristais de quartzo, imagem em nicóis Xs.

3.1.5 Granito 3

É uma rocha siliciosa, composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclase, biotite e moscovite. Como minerais acessórios estão presentes a apatite, zircão, clorite, e minerais opacos. Este agregado foi classificado como reactivo uma vez que estão presentes formas de sílica potencialmente reactiva nomeadamente cristais de quartzo com forte extinção ondulante, 'Figura 5'.

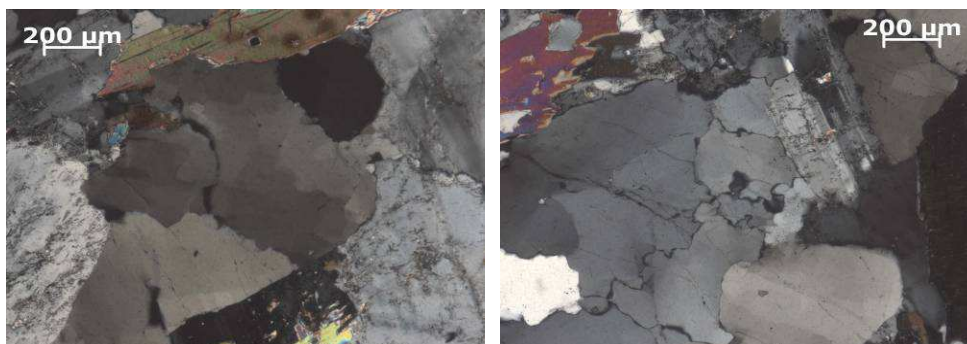


Figura 5. Imagem de cristais de quartzo com leve extinção ondulante, imagem em nicóis Xs.

3.1.6 Granito 4

O granito é composto por feldspato potássico, plagioclase, quartzo, moscovite, biotite, clorite, turmalina, apatite e raros opacos. Os cristais de quartzo revelam forte deformação, mostrando extinção ondulante, lamelas de deformação e subgranulação intensas, 'Figura 6'. Da subgranulação resultam pequenos subgrãos alongados e orientados, com bordos serrilhados e que constituem uma grande parte da matriz.

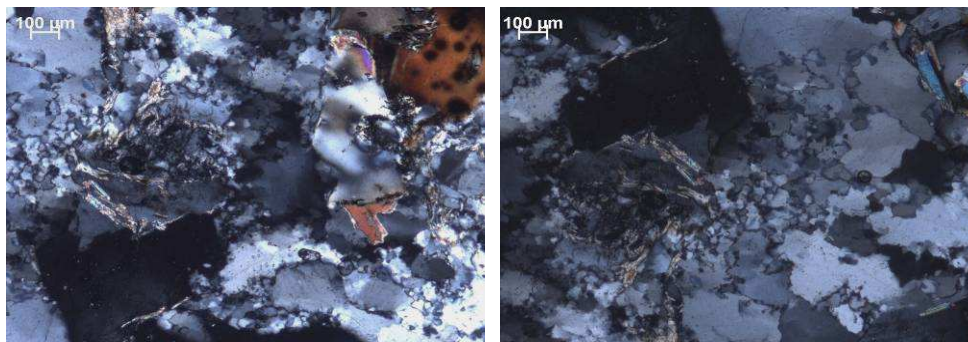


Figura 6. Imagens de cristais de quartzo com extinção ondulante, e quartzo criptocristalino, imagem em nicóis Xs.

3.1.7 Dolomito

Rocha carbonatada com veios siliciosos, a rocha encontra-se intensamente deformada "Figura 7", e apresenta formas de sílica potencialmente reactivas.

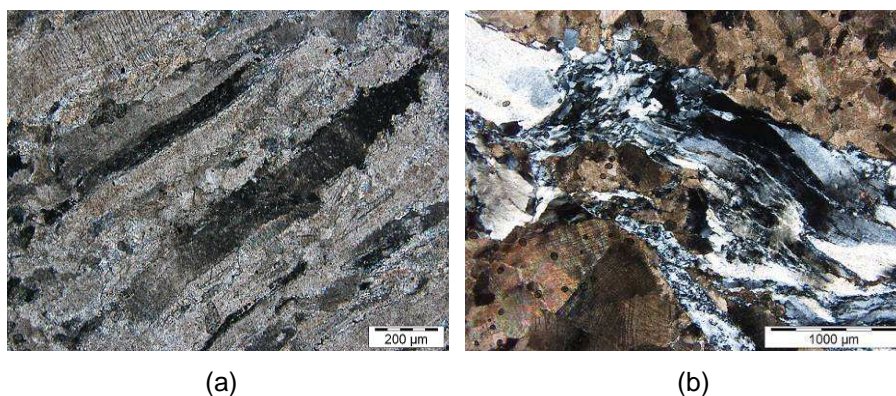


Figura 7. a) Zona de deformação dos carbonatos, imagem em nicóis Xs. b) Zona de deformação do quartzo, imagem em nicóis Xs.

3.2 Ensaios de expansão

A 'Figura 8' mostra as curvas de expansão do ensaio ASTM C1260, para todos os agregados estudados às diferentes idades de ensaio. Verifica-se o elevado valor de expansão para o agregado "brita reactiva" e a ausência total de expansão no ensaio de "brita não reactiva". No que diz respeito aos granitos, neste ensaio, o "Granito 1" foi aquele que apresentou maior expansão, ainda que a diferença de valores para os outros agregados graníticos seja muito reduzida. Constata-se que estes resultados não coincidem com os da petrografia dado que, apesar de aí ter sido classificado como de potencialmente reactivo foi, de todas as rochas graníticas estudadas aquela em que existia o menor potencial reactivo.

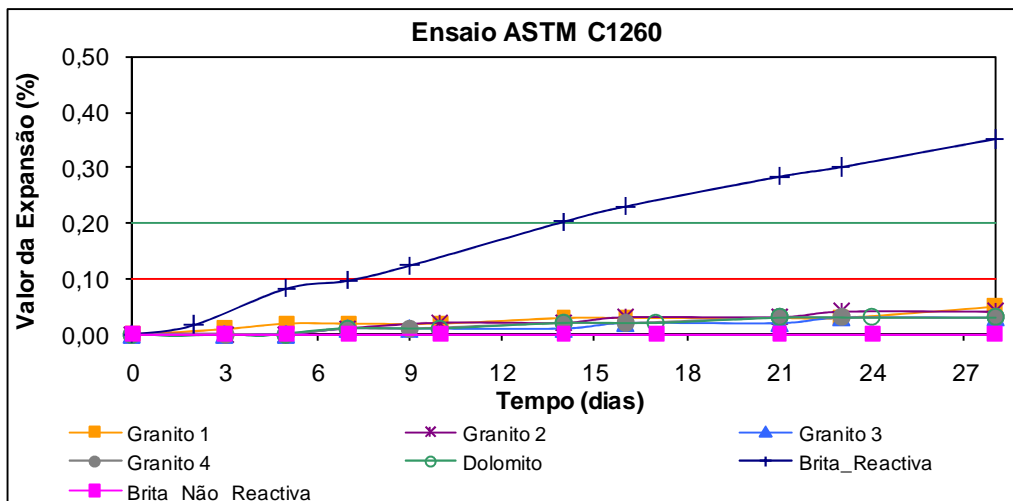


Figura 8. Gráfico referente às curvas de expansão do ensaio ASTM C1260.

A 'Figura 9' mostra as curvas de expansão dos ensaios de expansão [RILEM AAR-3], para os agregados ensaiados por estes métodos, às diferentes idades de ensaio exceptuando os agregados de referência, uma vez que à data deste trabalho ainda não é possível apresentar resultados de expansão.

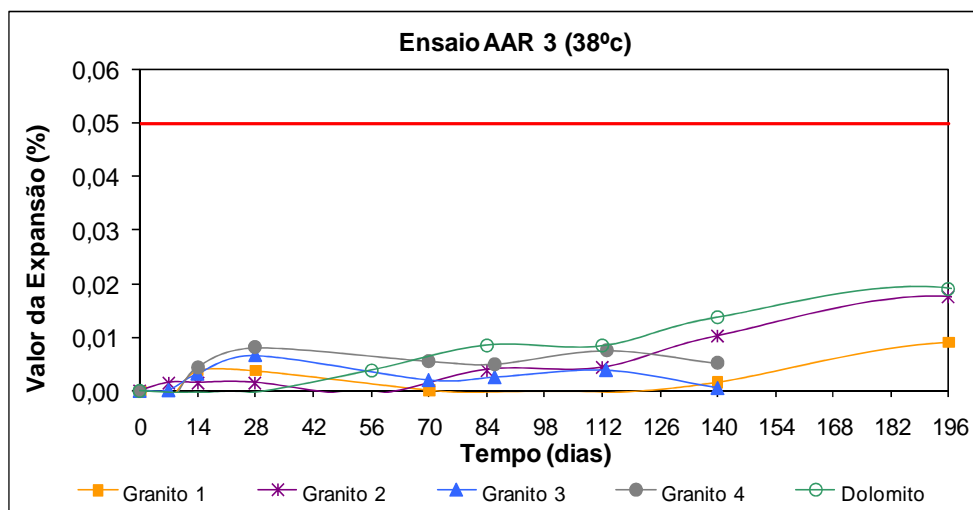


Figura 9. Gráfico referente às curvas de expansão do ensaio AAR-3.

Pela observação da 'Figura 9', é possível constatar que todos os agregados apresentam um resultado semelhante e ficam todos com uma expansão abaixo do valor limite dado por este método (0.05%) Estes dados estão de acordo com os resultados do método ASTM C1260, mas em oposição aos resultados de petrografia.

A 'Figura 10' mostra as curvas de expansão obtidas no ensaio de expansão (RILEM AAR-4), para os vários agregados ensaiados.

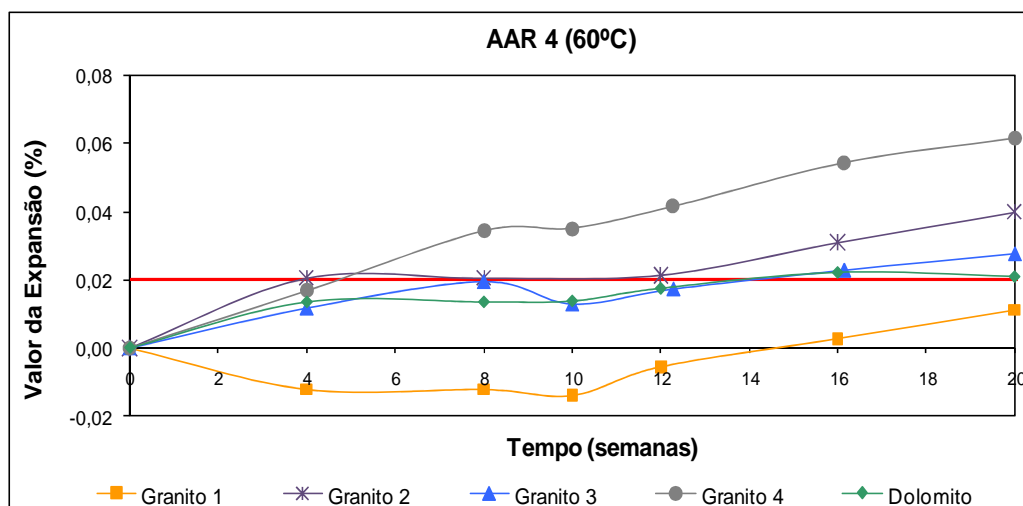


Figura 10. Gráfico referente às curvas de expansão do ensaio AAR-4.

Da observação da 'Figura 10', verifica-se que o "Granito 4" é o agregado com maior valor de expansão. Observa-se também que com excepção do "Granito 1" todos os agregados ultrapassam o limite de 0,02% ao fim de 20 semanas de ensaio, sendo por este motivo classificados como agregados reactivos aos álcalis pelo método RILEM AAR-4.

Deste modo e analisando os resultados de todos os ensaios, é possível verificar que a relação entre os diferentes ensaios de expansão não é linear, ou seja, o facto de um agregado ser classificado como reactivo por um método não significa que o seja por outro método de ensaio.

Verifica-se que a petrografia poderá dar bons indicadores da possível reactividade dos agregados, mas não deve ser usada por si só, sendo sempre necessário proceder-se a ensaios complementares.

Por outro lado constata-se que o ensaio ASTM C1260 classifica os agregados granitóides como "não reactivos" o que pode sugerir que este método não seja o mais indicado para este tipo de rocha ou que os limites especificados naquela norma tenham que ser diferentes para este tipo de rocha, tal como no método RILEM AAR-3.

O ensaio RILEM AAR-4 classifica todos os agregados, à excepção do "Granito 1" como "reactivos". Estes dados carecem de verificação com o desempenho dos mesmos agregados em estruturas de betão.

4 CONCLUSÕES

Com este estudo é possível concluir que:

- o ensaio ASTM C1260, não se aplica a agregados granitóides, tal como é já apontado pela Especificação E461-2007;
- os resultados obtidos nos diferentes ensaios apresentam baixa correlação entre si, sendo por isto necessário melhorar e aperfeiçoar a metodologia para a avaliação da reactividade potencial aos álcalis de agregados para betão;
- há necessidade de alargar o estudo a agregados com origem idêntica à de agregados utilizados em estruturas (pontes, barragens) com e sem RAS para validação da metodologia de caracterização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o apoio financeiro no âmbito dos projectos EXREACT (Mitigação de reacções deletérias expansivas internas em estruturas de betão, PTDC/CTM/65243/2006) e IMPROVE (Melhoria do desempenho de agregados para a inibição das reacções álcalis-agregado no betão, PTDC/ECM/115486/2009), ao projecto DURATINET (Durable Transport Infrastructures in the Atlantic Area Network) do Programa Operacional Espaço Atlântico 2007-2013, co-financiado pelo FEDER e ao Projecto Plurianual GeoREMAT do Centro de Geologia da Universidade do Porto.

5 REFERÊNCIAS

- ASTM C 295-03, 2003, "Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete." ASTM International, West Conshohocken, United States, p. 8.
- ASTM C 1260, 2001, "Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)", ASTM International, West Conshohocken, United States, p. 5.
- ASTM C1293 - 08b, 2008, "Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction", ASTM International, West Conshohocken, United States, p. 7.
- Broekmans, M.A.T.M., 2004, "Structural properties of quartz and their potential role for ASR", Materials Characterization, vol. 53, 2-4, p. 129-140.
- Fournier, B. and Bérubé, M-A., 1993, "General notions on alkali-aggregate reactions", In Petrography and Alkali-Aggregate Reactivity, CANMET, Ottawa, Canada, p.7-69.
- LNEC E 461, 2007, "Betão. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas", Especificação LNEC, Lisboa, p. 7.
- LNEC E 415, 1993, "Inertes para argamassas e betões – Determinação da reactividade potencial com os alcalis – análise petrográfica", Especificação LNEC, Lisboa, p. 6.
- NF P18-454, 2004, "Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction. Essai de performance", AFNOR, Paris, p. 19.
- RILEM TC 191-ARP: 'Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity', 2003, Materials and Structures, Vol. 36, pp. 480-496. [RILEM AAR-1]
- RILEM TC 106-AAR, 2000b, "Recommendations: A – TC 106-2 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – The ultra-accelerated mortar-bar test; Materials and Structures, vol. 33, p. 283-289. [RILEM AAR-2]
- RILEM TC 106-AAR, 2000b, "Recommendations B – TC 106-3 - Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Method for aggregate combinations using concrete prisms", Materials and Structures, vol. 33, p. 290-293. [RILEM AAR-3]
- RILEM TC 106-AAR, 2000c, "RILEM Recommended test method TC-106-4 – Detection of potential alkali- reactivity of aggregates – Accelerated (60° C) concrete prism test", Committee Document RILEM/TC 106/00/26, p. 17. [RILEM AAR-4]
- Santos Silva, A., "Degradação do betão por reacções álcalis-sílica. Utilização de cinzas volantes e metacaulino para a sua prevenção.", Tese de Doutoramento, LNEC/Universidade do Minho, 2006.