

GRUPO DE TRABALHO DE ESTRUTURAS: ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Luís Oliveira Santos, Investigador-Coordenador do LNEC
Coordenador do GT-Estruturas

Constituição do Grupo de Trabalho de Estruturas

António Santos Silva	LNEC
João Pinho	COBA
Joaquim Grave dos Santos	IMT
José Manuel Rio	Gabriel Couto
Laura Esteves	Teixeira Duarte
Luís Oliveira Santos	LNEC
Manuel Almeida	Betar
Nuno Amaro	Mota-Engil
Nuno Martins	Brisa
Sérgio Pereira	Infraestruturas de Portugal

DESAFIO

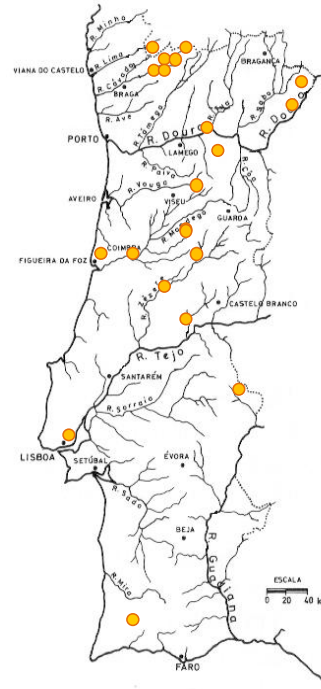
Pontes afetadas por reações expansivas de origem interna no betão: prevenção, diagnóstico e caracterização dos efeitos estruturais



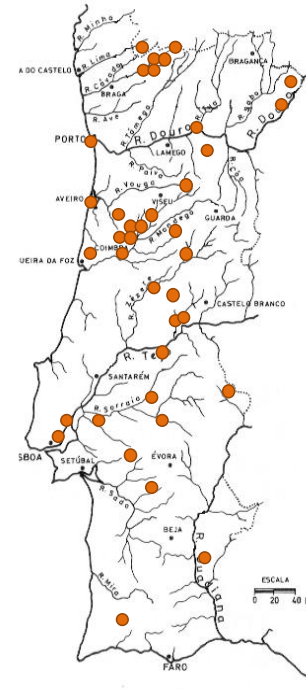
MOTIVAÇÃO

- Crescente número de obras de arte afetadas por reações expansivas internas no betão
- Os elevados custos de reabilitação
- As incertezas na transposição dos resultados laboratoriais para os efeitos estruturais

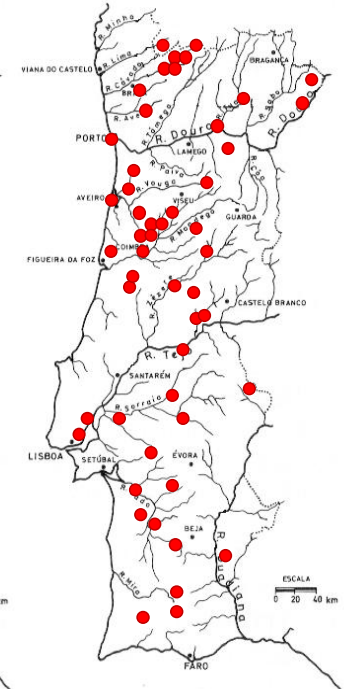
2003



2010

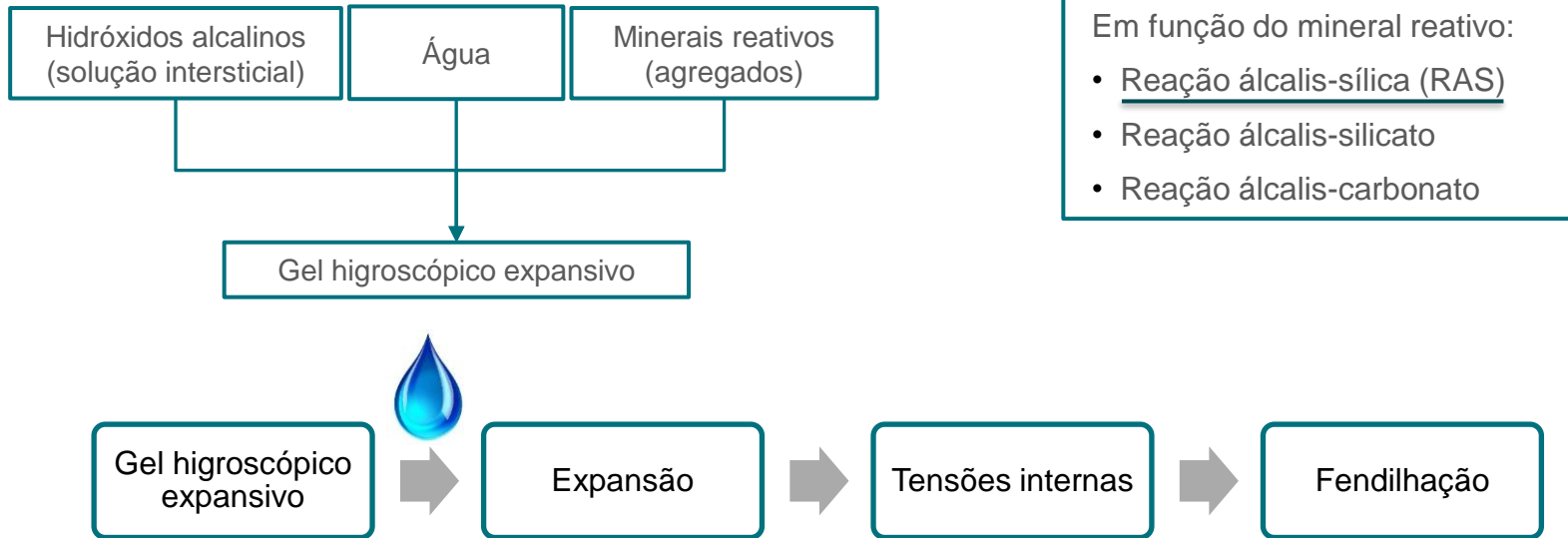


2020



REAÇÕES EXPANSIVAS INTERNAS NO BETÃO

Reações Álcalis-Agregado (RAA)



REAÇÕES EXPANSIVAS INTERNAS NO BETÃO

Reações Sulfática Interna (RSI)

A RSI ocorre entre compostos do cimento contendo alumina e outros constituintes do betão contendo sulfatos. Esta reação pode ocorrer quando:

- é utilizado agregado com um teor de sulfatos muito elevado.
- o betão é sujeito a temperaturas elevadas ($>65\text{ }^{\circ}\text{C}$) nas primeiras horas após a colocação, causando a **formação retardada de etringite**, que ocorre após o endurecimento do betão e na presença de água, gerando expansão, tensões internas e fendilhação.

CONSEQUÊNCIAS DAS REAÇÕES EXPANSIVAS

RAS e RSI têm consequências semelhantes:

- Expansão do betão
- Fendilhação
- Perda de rigidez e resistência

Em termos comparativos:

- A expansão causada pela RSI tem maior magnitude
- RSI inicia-se mais cedo (~2 anos) do que RAS (~10 anos)
- Após o início da expansão, a RSI desenvolve-se mais rapidamente do que a RAS
- O decréscimo rigidez e da resistência do betão é mais acentuado na RSI



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação
- Fecho de juntas de dilatação



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação
- Fecho de juntas de dilatação
- Deslocamentos nos aparelhos de apoio



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação
- Fecho de juntas de dilatação
- Deslocamentos nos aparelhos de apoio
- Descoloração superficial
- Exsudação de gel



EFEITOS ESTRUTURAIS EM PONTES

- Fendilhação
- Fecho de juntas de dilatação
- Deslocamentos nos aparelhos de apoio
- Descoloração superficial
- Exsudação de gel
- Desagregação superficial do betão



PREVENÇÃO

Especificação LNEC E 461

- Identifica as rochas e minerais existentes em Portugal potencialmente reativos aos álcalis
- Define metodologias para avaliar:
 - a reatividade dos agregados
 - a possibilidade de composições de betão virem a desenvolver reações expansivas internas (RAS e RSI)
- Estabelece as medidas para evitar a ocorrência deletéria de reações expansivas por RAS ou RSI.



ESPECIFICAÇÃO LNEC

Documentação normativa

BETÕES METODOLOGIAS PARA PREVENIR REAÇÕES QUÍMICAS EXPANSIVAS DE ORIGEM INTERNA

DEZEMBRO DE 2021

A presente Especificação anula e substitui a E 461, de 2007

ÂMBITO

A presente especificação identifica as rochas e os minerais, existentes no nosso país, potencialmente reativos aos álcalis, define metodologias para avaliar a reatividade álcali-silica dos agregados e a possibilidade de as composições de betão virem a desenvolver reações expansivas, estabelecendo ainda as medidas a tomar para evitar a ocorrência deletéria de reações químicas expansivas, nomeadamente Reação Álcali-Silica, RAS, ou Reação Sulfática de origem interna, RSI (fenómeno também comumente designado por formação retardada de etringite ou ataque por sulfatos internos induzido pelo calor).

CONCRETE

Methodologies to prevent expansive chemical reactions of internal origin

SCOPE

This LNEC Specification identifies potentially alkali-silica reactive aggregates, i.e. aggregates that contain forms of silica that can be potentially reactive with alkalis, defines the methodologies for evaluating the alkali-reactivity of aggregates, and the possibility that concrete compositions will develop expansive reactions, also establishing measures that may be used to prevent the development of deleterious alkali-silica reaction, ASR, and internal sulfate reaction, ISR (term hereinafter used to designate the phenomenon heat-induced internal crystalline attack, which is also referred in the literature as delayed ettringite formation, DEF).

BETON

Méthodologies pour prévenir des réactions chimiques expansives d'origine interne

OBJET

Cette spécification LNEC identifie les agrégats potentiellement alcali-silice réactifs, c'est-à-dire les agrégats contenant des formes de silice qui peuvent être potentiellement réactives avec les alcalis, définit les méthodologies pour évaluer la réactivité alcali-silice des agrégats et la possibilité que les compositions de béton développent des réactions expansives, établissant en outre des mesures qui peuvent être utilisées pour empêcher le développement délétère de la réaction alcali-silice, RAS, et réaction sulfatique interne, RSI (terme utilisé ci-après pour désigner le phénomène d'attaque par des sulfates internes induit par le chaleur, également appelé dans la littérature formation différée d'étringite, DEF).

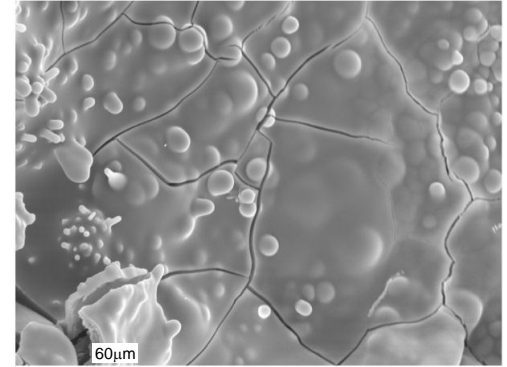
ÍNDICE

1	Introdução	2	4	Reação sulfática interna, RSI	8
2	Referências	2	4.1	Generalidades	8
3	Reação álcali-silica, RAS	3	4.2	Níveis de prevenção	8
3.1	Rochas com formas de sílica potencialmente reativas aos álcalis e com minerais potencialmente fornecedores de álcalis	3	4.3	Medidas preventivas	8
3.2	Avaliação da reatividade do agregado	9	5	Bibliografia	10
3.3	Medidas para evitar a ocorrência da reação álcali-silica	4			
3.4	Avaliação da reatividade de misturas de agregados	7			
3.5	Avaliação da suscetibilidade de uma composição de betão desenvolver reação álcali-silica deletéria	7			

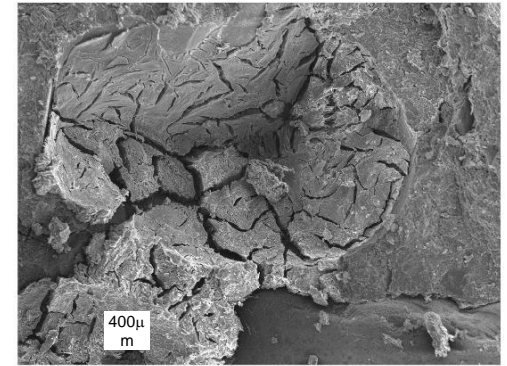
DIAGNÓSTICO

Ensaio laboratoriais de carotes extraídas da estrutura:

- Observação macroscópica
- Observação microscópica
 - Microscópio ótico de polarização (análise petrográfica)
 - Microscópio eletrónico de varrimento (MEV/EDS)
- Ensaio mecânicos
 - Resistência à compressão
 - Módulo de elasticidade
 - Perda de rigidez



60µm
Presença de produtos amorfos da RAS
(Imagem MEV)



400µm
Etringite mal cristalizada, de aspeto comprimido e expansiva (Imagem MEV)

PROGNÓSTICO

Ensaio de expansão residual

Carotes expostas a condições ideais de temperatura e humidade para o desenvolvimento das reações em causa (RAS ou RSI), de forma a acelerar o processo expansivo e assim **antecipar a máxima expansão** que poderá ocorrer no betão em estudo.

Ensaios complementares

- Caracterização microestrutural (MEV), para identificação dos produtos das reações.
- Ensaios mecânicos, realizados antes e após os ensaios de expansão residual, para avaliar o dano causado por esses ensaios e, conseqüentemente, o dano potencial no betão da estrutura.



MITIGAÇÃO DOS EFEITOS

- Métodos baseados em meios mecânicos
- Métodos para evitar a penetração de umidade
- Aplicação de meios químicos ou eletroquímicos
- Substituição parcial ou total da estrutura



OBJETIVOS PARA O TRIÉNIO 2024-2026

- Organização de uma sessão no 11º CRP
- Organização de um Seminário no Outono de 2025
- Publicação de manual de apoio à inspeção de pontes
- Publicação de documento orientador sobre a prevenção, diagnóstico e efeitos estruturais das reações expansivas internas no betão em pontes

Dia 14 | 9h | Sala 3 | Estruturas

Moderador: Luis Oliveira Santos (LNEC)*Reações Expansivas Internas no Betão em Obras de Arte Correntes***Autores:** João Pinho e Nuno Nunes*Diagnóstico e mitigação dos efeitos estruturais das reações expansivas internas no betão nos viadutos do Barranco dos Ribeiros 2 e 3 e no viaduto do Barranco dos Brejões***Autores:** Tomás Faria, Vítor Brito, Manuel Almeida e Tiago Mendonça*Gestão dos Viadutos da Baixa do Rio Mondego afetados por reações expansivas***Autores:** Nuno Martins e Guilherme Pinho e Silva*Viaduto Duarte Pacheco – Inspeção, Reabilitação e Monitorização das Deficiências Devidas a Reações Alcalis-Sílica***Autores:** Joaquim Grave dos Santos, Fernanda Ferreira dos Santos e Tiago Rodrigues*Reabilitação da Ponte da Figueira da Foz***Autores:** Nuno Amado*Transformação Digital para a Inspeção e Gestão de Pontes***Autores:** Sérgio Pereira, Afonso Póvoa, Luís Freire e Fernanda Ferreira dos Santos*Evolução e Inovação na Gestão de Obras de Arte: Uma Visão de Futuro***Autores:** Sérgio Costa, Fábio Milhazes, Vítor Brito e Tiago Mendonça

DOCUMENTO ORIENTADOR

Reações expansivas internas no betão: prevenção, diagnóstico e efeitos estruturais em pontes

1. Fundamentos das reações expansivas internas no betão
2. Prevenção
3. Efeitos estruturais das reações expansivas em pontes
4. Inspeção de pontes afetadas por reações expansivas internas
5. Ensaio laboratoriais de diagnóstico e de prognóstico
6. Meios experimentais para caracterização *in situ* dos efeitos estruturais
 - a) Monitorização estrutural
 - b) Ensaio não destrutivos (ultrassónicos, impacto-eco, georadar, etc.)
 - c) Ensaio estruturais (estáticos e dinâmicos)
7. Casos de estudo

MANUAL DE APOIO ÀS INSPEÇÕES

Inspeção de pontes afetadas por reações expansivas internas no betão

1. Introdução
2. Definições
3. Sintomas da ocorrência das reações
4. Partes da estrutura susceptíveis de serem danificadas
5. Avaliação do resultado da inspeção e recomendações sobre as ações a tomar
6. Considerações finais

SEMINÁRIO

Reações expansivas internas no betão: ações orientadas para a sustentabilidade e resiliência das pontes

LNEC, 25 de novembro de 2025

OBRIGADO!

CONTACTOS

luisosantos@lnec.pt

