

# Diagnóstico de reação álcali-agregado implicou demolição de viaduto no Canadá

FÁBIO LUÍS PEDROSO – Editor\*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710>

As estruturas de concreto das obras de engenharia podem sofrer deterioração ao longo do tempo devido a diferentes fatores químicos, físico-mecânicos, eletroquímicos e biológicos, que podem atuar isolada ou conjuntamente no concreto.

Esses fatores podem causar ao longo do tempo de uso da obra a deterioração das peças, componentes e estrutura de concreto, isto é, a redução de sua integridade física, de sua rigidez e de seu desempenho mecânico, comprometendo a segurança, funcionalidade e durabilidade da obra.

Com estruturas de concreto atingindo, em nível mundial, sua vida útil



Prof. Leandro Sanchez é apresentado aos congressistas pelo Prof. Paulo Helene

mínima de 50 anos, torna-se imprescindível inspecioná-las para se certificar se sofrem ou não deterioração precoce e, caso sofram, é necessário realizar procedimentos de ensaios para avaliá-las quanto ao mecanismo, grau e velocidade dessa deterioração. Com isso, é possível atestar se uma determinada obra em uso já por várias décadas pode

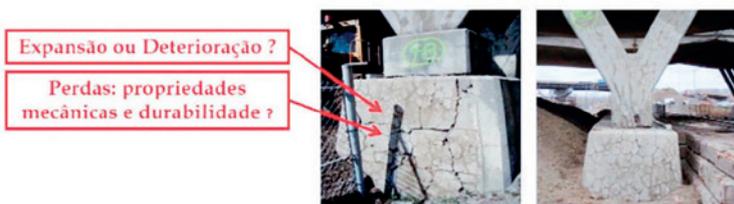
continuar prestando seus serviços com segurança, ou se precisa sofrer intervenções corretivas para continuar em uso, ou ainda se necessita ser demolida e dar lugar a uma obra nova.

Este assunto foi ilustrado por um estudo de caso de avaliação multinível de um viaduto afetado por reações expansivas na cidade canadense de Quebec, com mais de 50 anos, pelo pesquisador brasileiro Dr. Leandro Sanchez, professor da Universidade de Ottawa, em sua palestra magna no 62CBC2020, ocorrido de 30 de março a 02 de abril de 2021.

## Introdução

• Desafios (mecanismos expansivos) → correlacionar "sinais" de deterioração e:

- Expansão dos elementos estruturais;
- Perdas de propriedades mecânicas e durabilidade dos elementos deteriorados;



(Robert Bourassa/Charest viaduct, Quebec, Canada)

Tela mostra fissuração em blocos de fundação e em pilares do viaduto Robert-Bourassa Charest

## ENSAIOS MECÂNICOS E MICROSCÓPICOS PARA DIAGNÓSTICO

O viaduto Robert-Bourassa Charest era composto por tabuleiro, pilares em Y e blocos de fundação, sendo estes

\* [fabio@ibracon.org.br](mailto:fabio@ibracon.org.br)



com 24 MPa e aqueles com 28 MPa. Antes que fosse demolido por estar completamente deteriorado, foram retirados testemunhos do tabuleiro, dos pilares e dos blocos de fundação para avaliação do estado geral da estrutura após 50 anos e para o desenvolvimento de um modelo de prognóstico.

Alguns desses testemunhos foram submetidos ao ensaio de compressão modificado (“Stiffness Damage Test” – SDT), que consiste em executar cinco ciclos de compressão, com uma carga 40% da carga total de ruptura do testemunho extraído, para fazer suas fissuras fecharem e plastificarem. O ensaio gera uma curva tensão x deformação, tornando possível medir a energia dissipada (SDI) e a deformação plástica (PDI) em relação à energia total do sistema, índices que variam em função da expansão da deterioração, independentemente de suas causas (para mais informações sobre o ensaio, consulte a edição 99 da CONCRETO & Construções).

Os resultados dos ensaios SDT apresentados pelo Prof. Sanchez mostraram que os blocos de fundação estavam mais deteriorados comparativamente aos pilares e tabuleiro. “Mais interessante foi notar que a deterioração variou muito dentro do pró-

## Ensaios Mecânicos: Stiffness Damage Test (SDT)

• Extensão da deterioração do concreto.

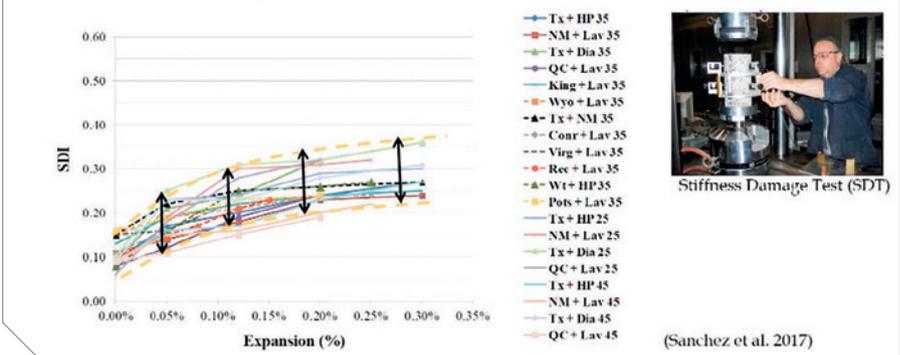


Gráfico com os resultados do ensaio SDT

prio componente, em função de seu grau de exposição ao meio ambiente. Mais expostos ao meio, mais deteriorados os elementos. Menos expostos, ou seja, menos próximos às faces do componente estrutural, menos deteriorados”, adicionou.

Esses resultados foram respaldados pelos ensaios de módulo de elasticidade, que apresentaram correlações parecidas aos resultados de ensaios SDT. “Em valores absolutos, a maioria dos componentes estruturais apresentaram módulo de elasticidade com valores abaixo de 20 GPa, o que mostra o estado crítico de deterioração da estrutura”, apontou.

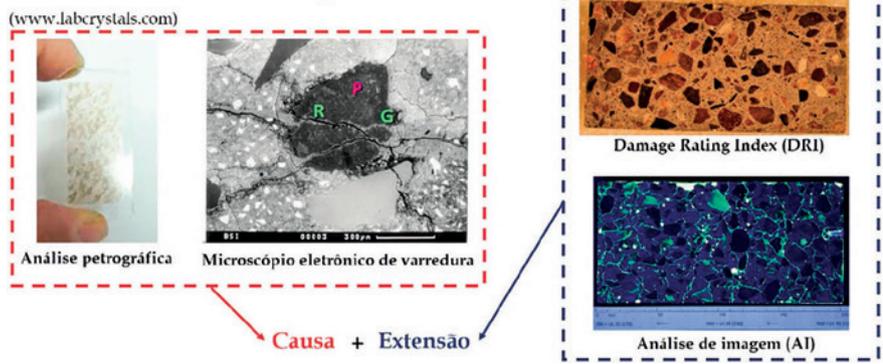
Por sua vez, os ensaios de resistência à compressão realizados nos

testemunhos extraídos em diferentes direções dos componentes estruturais do viaduto mostraram valores de resistência abaixo dos valores preconizados em projeto para a laje do tabuleiro e, em conformidade para os blocos de fundação e pilares.

O ensaio microscópio dos testemunhos consistiu, primeiramente, em localizar, caracterizar, quantificar e medir, por meio de uma lupa binocular com aumento de 16 vezes, as fissuras por centímetro quadrado nos testemunhos avaliados. Secundariamente, esses índices preliminares foram multiplicados por fatores de ponderação relacionados ao local e características dessas fissuras. Com isso, chegou-se, por fim, aos índices gerais de deterioração das peças (DRI).

Segundo Leandro, os resultados DRI revelaram as correlações já apontadas pelo SDT. Além disso, mostraram a maior proporção de fissuras nos agregados preenchidas por gel, indicando a presença da reação álcali-silica (RAS), bem como fissuras na pasta de cimento, o que pode ser indicativo de RAS em estágio bem avançado ou de gelo-degelo como mecanismo secundário de deterioração.

## Ensaios Microscópicos:



Comparação entre ensaios microscópicos de amostras de concreto

## Estudo de Caso:



### Extração de testemunhos de concreto do viaduto

Quando os resultados dos ensaios de pilares tratados (com selantes, hidrofugantes, películas, fibras de carbono) são levados em consideração nas análises, surgiram informações curiosas. Os resultados SDT dos pilares tratados foram piores do que os resultados dos pilares não tratados para o mesmo microclima. Houve perdas da ordem de 30% a 40% do módulo de elasticidade para os pilares tratados, mostrando a ineficiência dos tratamentos, neste caso. “O diagnóstico do mecanismo de deterioração principal da estrutura do viaduto apontou para a reação álcali-agregado, e não se esperava redução do módulo dos pilares, por serem os componentes menos deteriorados da estrutura”, explicou Leandro.

“Os resultados de ensaios mecânicos e microscópicos dos testemunhos de pilares tratados e não tratados mostraram que quanto maior o grau de exposição dos elementos, maior os índices DRI e SDI, bem como maior o

impacto nas respostas mecânicas dos elementos. Por fim, os resultados indicaram expansão muito elevada para os blocos de fundação (mais de 0,3%), elevada para o tabuleiro (0,2%) e moderada ou marginal para os pilares (0,05% a 0,12%)”, rematou Leandro.

### MODELO DE PROGNÓSTICO DE EXPANSÃO

A próxima etapa do programa experimental apresentado pelo Prof. Leandro Sanchez foi determinar os impactos estruturais das expansões nos componentes da obra.

Para isto, algumas seções dos pilares foram cortadas e caracterizadas quanto à fissuração, bem como tiveram alguns de seus estribos retirados. A análise visual de pilares mostrou uma maior proporção de microfissuras (até 0,3 mm) nas zonas mais expostas dos pilares, e uma maior proporção de macrofissuras (maiores do que 0,3 mm) nas zonas não expostas.

Com relação à caracterização dos estribos, a zona exposta apresentou, em média, estribos mais deformados que os da não exposta. “Como o número médio de microdeformações nos estribos expostos está bem próximo do limite de plastificação, havia um risco potencial de rompimento de estribos na obra e, conseqüentemente, de problema estrutural na obra”, alertou o Prof. Sanchez.

Em seguida, os pesquisadores buscaram desenvolver um modelo matemático de prognóstico das expansões no viaduto Robert-Bourassa Charest, tentando prever ao longo do tempo o que acontecia com ela em termos expansivos e o que aconteceria se ela fosse mantida em funcionamento.

O ponto de partida foi o modelo matemático de Larive, desenvolvido em 1997, para tentar prever a expansão da reação álcali-agregado a partir de parâmetros puramente matemáticos (como o tempo), sem levar em consideração os parâmetros físico-químicos da RAA.

Este modelo foi calibrado em laboratório para que a expansão por RAA fosse descrita em termos de parâmetros físico-químicos, como temperatura, teor de álcalis no concreto, tipo de agregado reativo, grau de reatividade do agregado e umidade relativa do ar.

A seguir, o modelo foi incorporado num software desenvolvido por estudantes da Universidade de Ottawa, que agregou sub-rotinas capazes de incorporar informações relativas à anisotropia da expansão, efeitos de confinamento,

condições de exposição e fluência do concreto.

Por fim, o modelo da abordagem de Ottawa foi capaz de confirmar

### Resultados: análise multinível

#### • Viaduto RBC

- BF: muito elevado (0,30%)
- T: elevado (0,20%);
- C: marginal / moderado (0,05% - 0,12%).



ASR damage degree (%)	Reference expansion level (%) <sup>1</sup>	Multi-level assessment			
		SDI		DRI	
Negligible	0.00 - 0.03	0.06	0.16	100 - 155	
Marginal	0.04 - 0.01	0.11	0.25	210 - 400	
Moderate	0.11 - 0.01	0.15	0.31	330 - 500	
High	0.20 - 0.01	0.19	0.32	500 - 765	
Very High	0.30 ± 0.01	0.22	0.36	600 - 925	

### Resultados da análise multinível do viaduto



as expansões verificadas na avaliação do Viaduto para os diferentes elementos estruturais, com desvios de 5% a 10%. O modelo confirmou também que a estrutura era insegura, pois apontou pontos de plastificação do aço nos pilares e no tabuleiro.

“O diagnóstico e o prognóstico do viaduto Robert-Bourassa Charest apontaram que a RAA é um problema de durabilidade e funcionalidade da obra no início da reação expansiva, mas, em obras com agregados altamente reativos, ela se torna ao longo do tempo um problema estrutural. Em razão desta avaliação, a obra foi demolida pelo governo do Canadá”, concluiu Sanchez.

#### DEBATES

“Que privilégio poder estudar uma es-

trutura em detalhes e com tal profundidade antes de sua demolição! Isto dificilmente encontramos aqui no Brasil”, observou o mediador do debate que se seguiu, Prof. Paulo Helene, presidente do IBRACON.

Emilio Takagi, diretor técnico da Penetron, inquiriu o palestrante acerca do que influencia o fim da curva de expansão da RAA e se fatores biológicos interfeririam no processo. “A comunidade de especialistas que estudam a RAA divide-se entre a quantidade de álcalis e a de sílica no sistema como fator preponderante para o potencial futuro de expansão residual da RAA. Existem atualmente muitos modelos de prognóstico em desenvolvimento, nos quais se leva em conta os produtos que entram na RAA”, respondeu Sanchez, que complementou: “Os fatores

biológicos não têm uma interferência direta no processo físico-químico da RAA, mas conjuntamente podem levar a maior grau de deterioração dos elementos estruturais”.

Finalizando a discussão, o mediador, Paulo Helene, comentou que o estado de confinamento do elemento estrutural contribuiu para reduzir a velocidade de deterioração nessas peças, como mostrado na palestra para os pilares. “A RAA numa estrutura real, com efeitos de confinamento distintos nas três direções, é anisotrópica, com zonas comprimidas menos deterioradas do que zonas não comprimidas. Isto tem que ser levado em conta nas decisões de engenharia!”, concordou o palestrante, Prof. Leandro Sanchez. 

**PENETRON**  
PROTEÇÃO DURÁVEL PROLONGADA

## Soluções Penetron para Tanques de Estações de Tratamento de Efluentes



### Penetron Admix

O **PENETRON ADMIX** é um aditivo para impermeabilização por cristalização integral, adicionado ao traço do concreto no momento de sua produção. Aumenta a resistência química do concreto.



### Penetron Biomic

O **PENETRON BIOMIC** é um aditivo antimicrobiano para concreto em estações de tratamento de efluentes, estações elevatórias de efluentes, biodigestores e tubulações de esgoto.

