

REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

SAIBA COMO PREVENIR E COMO AVALIAR, MODELAR E REPARAR ESTRUTURAS DE CONCRETO AFETADAS



Ano XLIV
83

JUL-SET
2016

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

Detalhe da fissura no interior
do bloco afetado

Extração de testemunho de
bloco de fundação com
quadro fissuratório

Identificação da borda de reação
e do gel da RAA por meio
de ensaio laboratorial



Bloco concluído:
envelopamento
com concreto
com microssilica
e pintura
impermeabilizante



Procedimentos de
recuperação:
colocação de
perfis metálicos,
de barras *Dywidag*
e das armaduras

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

VLADIMIR ANTONIO PAULON:
CONSULTORIA PARA A
QUALIDADE CONSTRUTIVA

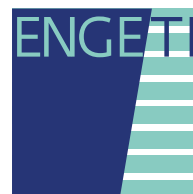
NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

A NOVA NORMA ABNT NBR 15577

ACONTECE NAS REGIONAIS

58º CONGRESSO BRASILEIRO
DO CONCRETO EM OUTUBRO
NO MINASCENTRO

Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



Adote concretamente

a revista **CONCRETO & Construções**



Instituto Brasileiro do Concreto


Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da **revista CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS



ADIÇÕES



JUNTAS



EQUIPAMENTOS



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardia
Tratamentos de Infiltrações



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



I.a.falcão bauer



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



LafargeHolcim



Associação Brasileira de Cimento Portland



CIMENTO NACIONAL



GOVERNO



CONCRETO





**CRÉDITOS
CAPA**

SEQUÊNCIA ILUSTRATIVA DO PROCESSO DE INSPEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE BLOCO DE FUNDAÇÃO AFETADA PELA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO.
SÉRGIO OTIUCH

SEÇÕES

- 7 Editorial
- 9 Coluna Institucional
- 10 Converse com o IBRACON
- 12 Encontros e Notícias
- 20 Personalidade Entrevistada:
Vladimir Antonio Paulon
- 39 Mercado Nacional
- 59 Mantenedor
- 96 Acontece nas Regionais



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto.

ISSN 1809-7197

Tiragem desta edição: 5.000 exemplares
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luís Pedroso - MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elemento-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Ipsis Gráfica e Editora
Preço: R\$ 12,00

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

© Copyright 2016 IBRACON

Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

→ Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian (tecnologia)
- Eduardo Millen (pré-moldado)
- Enio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
- Ercio Thomas (sistemas construtivos)
- Evandro Duarte (protendido)
- Frederico Falconi (projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Helena Carasek (argamassas)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Martins Laginha Neto (projeto estrutural)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman (barragens)

IBRACON

Rua Julieta Espírito Santo
Pinheiro, 68 – CEP 05542-120
Jardim Olímpia – São Paulo – SP
Tel. (11) 3735-0202



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual | Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal | Decreto 86871 de 25/01/1982

DIRETOR PRESIDENTE

Julio Timerman

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Luiz Prado Vieira Junior

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Carlos José Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO

Nelson Covas

DIRETORA DE MARKETING

Íria Lícia Oliva Doniak

DIRETOR DE EVENTOS

Bernardo Tutikian

DIRETORA TÉCNICA

Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Paulo Helene

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Eduardo Barros Millen

DIRETORA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Leandro Mouta Trautwein

DIRETOR DE CURSOS

Enio José Pazini Figueiredo

DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Gilberto Antônio Giuzio

ENTENDENDO O CONCRETO

27 Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?

30 Contribuição à previsão de danos em estruturas de concreto atacadas pela RAA

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

44 A nova norma brasileira de RAA

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

48 Eficácia de cimentos com cinzas volantes para prevenção de RAA

51 Metodologia laboratorial para avaliação da expansão por RAA

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

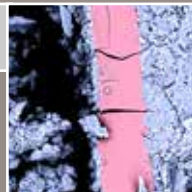
61 Modelagem computacional da expansão por RAA

69 Avaliação de RAA na barragem de Pirapora

75 Abertura de juntas de expansão na barragem de Pedra

83 Reparos nas estruturas afetadas pela RAA na barragem de Jaguari

89 RAA em estrutura de concreto armado de uma edificação



Divulgando conhecimento sobre a RAA para sua prevenção



Caro leitor,

Esta edição da nossa Revista apresenta como tema de capa a reação álcali-agregado (RAA). Nada mais oportuno em vista das ações que o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) vem conduzindo nesse assunto. Aconteceu em julho passado, em São Paulo, a décima quinta edição da ICAAR-International Conference on Alkali Aggregate Reaction, realizada pela Unesp - Ilha Solteira e que teve amplo apoio do IBRACON. Nessa oportunidade foram discutidas pelos mais renomados especialistas internacionais questões sobre o entendimento dos mecanismos da reação, metodologias de ensaio, medidas de prevenção, diagnóstico e reparo das estruturas de concreto, cujos trabalhos mais importantes foram selecionados para fazer parte desta edição. Assim nossos leitores são agraciados com o que há de mais atualizado sobre esse tema. Mas o que é a RAA? Trata-se de um termo genérico aplicado a dois tipos distintos de deterioração do concreto, denominados reação álcali-silica e reação álcali-carbonato. Esta última é de mais rara ocorrência em âmbito mundial e nacional. Já a reação álcali-silica, como o próprio nome indica, é uma reação entre a sílica amorfa ou mal cristalizada, e alguns silicatos presentes em certos tipos de agregados, e os álcalis precipitados presentes nas soluções dos poros do concreto. Esta reação tem como produto um gel expansivo e para sua ocorrência há necessidade de três fatores simultâneos, quais sejam água, fase reativa e álcalis. A quantidade de gel e as pressões exercidas são muito variáveis, dependendo da temperatura, do tipo e proporções das fases reativas, da composição do gel, e de outros fatores, mas que podem ser suficientes para induzir o desenvolvimento e propagação de microfissuras que, por sua vez, levam à expansão e fissuração generalizada do concreto ou elemento estrutural afetado.

As feições típicas das manifestações patológicas decorren-

tes da reação álcali-silica no concreto incluem fissurações, expansão e consequente desalinhamento de elementos estruturais, pop-outs, presença de gel preenchendo fissuras ou associados com agregados no interior do concreto, formando bordas de reação. Essa reação normalmente demora entre cinco e doze anos para se desenvolver, embora existam muitas exceções, e é tanto mais grave quanto maiores as concentrações de álcalis nas fases líquidas dos poros de concreto.

Ainda no século XIX, observações davam conta de que o concreto, embora considerado um material durável, poderia se deteriorar sob ação do gelo/degelo e sob ação da água do mar. Durante os anos 20 e 30, do século passado, numerosas estruturas de concreto na Califórnia apresentaram intensa fissuração, embora não expostas às condições ambientais citadas e nas quais boas práticas de engenharia tivessem sido adotadas. Foi, portanto, um grande avanço científico, quando, em 1940, Thomas Edson Stanton, numa publicação que se tornaria clássica, propôs a existência da reação álcali-agregado como um processo deletério intrínseco dos constituintes do concreto. Nesse trabalho, o autor atribuiu a fissuração observada em pavimentos de concreto à expansão provocada pela reação entre a sílica constituinte dos agregados e os álcalis do concreto, na presença de umidade proveniente do solo. Suas recomendações da época para a prevenção da reação já apontavam para o uso de materiais pozolânicos e para a redução da quantidade de compostos alcalinos no concreto. Nas primeiras décadas após a constatação do fenômeno nos Estados Unidos, ele foi detectado em diversas regiões do mundo. Na Dinamarca nos anos 50, na Alemanha nos anos 60, no Reino Unido em meados dos anos 70 e no Japão nos anos 80. Na sequência, alguns países iniciaram pesquisas sobre o tema, desenvolvendo técnicas laboratoriais para a

observação do desenvolvimento da reação e buscando alternativas para prevenção e correção do problema, cujas principais manifestações foram verificadas em obras hidráulicas, especialmente barragens de concreto, além de casos em pavimentos, dormentes de concreto de estradas de ferro e outros de menor expressão. Desde então muitas pesquisas foram desenvolvidas no mundo inteiro e grande parte do conhecimento moderno foi se acumulando nos congressos ICAAR, cuja primeira edição foi na Dinamarca, em 1974, e que o Brasil teve a honra de sediar a edição deste ano. Atualmente é prática internacional a eliminação de, pelos menos, um dos três fatores concorrentes da RAA como técnica de prevenção dessa patologia e a utilização de materiais mitigadores quando do uso de agregados comprovadamente reativos. Alguns autores já associaram a RAA à AIDS, em vista da facilidade da prevenção em detrimento do tratamento. Efetivamente as técnicas de recuperação são onerosas, nem sempre eficazes e pouco vem evoluindo.

No Brasil, historicamente conhecido como um fenômeno raro e de lento desenvolvimento, a reação álcali-agregado foi, durante décadas, objeto de estudos específicos para a construção de obras hidráulicas. A adoção de medidas sistemáticas de prevenção vem, atualmente, evitando a ocorrência de manifestações patológicas dessa natureza, mas, no passado, essa iniciativa não era comum. Constituem exemplos de prevenção as barragens de Jupia (concluída em 1963), Água Vermelha (construída entre 1975 e 1979), Salto Osório (construída entre 1971 e 1975), Tucuruí, Itaipu, dentre outras, onde foram utilizados materiais pozolânicos para inibir a expansão com o uso local de agregados reativos. Entretanto a partir de 1985, o meio técnico brasileiro tomou conhecimento da ocorrência desse fenômeno nas barragens de Moxotó e Joanes II, ambas localizadas na Região Nordeste, por reunirem as condições que favoreceram a reação e do desconhecimento até então da natureza do agregado reativo utilizado. A constatação da reação álcali-agregado em obras de edifícios foi verificada pela primeira vez na região metropolitana de Recife, em Pernambuco, devido ao interesse gerado na inspeção das fundações de diversos edifícios habitacionais, após a queda do Areia Branca em 2004. Cumpre esclarecer que as causas do desabamento do Edifício Areia Branca foram devidamente apuradas e nada se constatou que pudessem apontar a RAA como causa do episódio. No entanto, a inspeção das fundações de diversos edifícios naquela região

permitiu a verificação da existência de muitos casos onde houve fissuração dos blocos de coroação de estacas ou de sapatas corridas. A análise acurada dessas ocorrências por especialistas, a partir de testemunhos de concreto extraídos dos elementos de fundação, mostrou realmente tratar-se de reação álcali-agregado, tendo, por exemplo, os laboratórios da ABCP estudado mais de 60 casos.

Contudo não se tem notícia de casos onde os efeitos da reação tenham levado à falta de segurança no uso das construções; mas, sim, à necessidade de manutenção corretiva, que, em qualquer situação, é mais onerosa do que a prevenção do fenômeno. Na oportunidade, mais uma vez o IBRACON cumpriu seu papel de disseminar o conhecimento, reunindo, dentre seus associados, um grupo de especialistas que elaboraram dois textos: um dirigido à mídia não especializada e de grande penetração, procurando conscientizar a população afetada por notícias alarmantes de colapso das edificações; Outro dirigido a especialistas, que culminou, dentro do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CB-18), no início de trabalhos que levaram à criação, em 2008, de uma norma moderna com seis partes, envolvendo um guia de prevenção da RAA e outras partes dedicadas à amostragem e aos métodos de ensaios. Em 2016, o Comitê Técnico CT 201 do IBRACON concluiu, após quase dois anos de estudo, novos textos-base, que foram encaminhados ao CB-18 como contribuição para revisão das normas de RAA, incorporando os avanços desde 2008. Os trabalhos darão os subsídios necessários para imprimir às normas a mesma qualidade de suas congêneres internacionais. Paralelamente, o CT 201 programou quatro publicações a serem oferecidas pelo Instituto, tendo iniciado a Prática Recomendada da RAA, documento dirigido a não especialistas, e, na sequência, deverão ser redigidos textos sobre inspeção e diagnóstico de estruturas suspeitas de RAA, como agir em casos de estruturas afetadas pela RAA e, finalmente, um texto comentado sobre a nova norma.

Todas essas atividades são um exemplo e prova contundente de que o IBRACON pratica efetivamente sua missão de criar e divulgar o conhecimento, em benefício de seus associados, do meio técnico e de toda a sociedade. Boa leitura.

ARNALDO FORTI BATTAGIN

MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL E REPRESENTANTE DO CTA 

58º Congresso Brasileiro do Concreto: ambiente de aprendizado e qualificação

Caros leitores e amigos do Instituto Brasileiro do Concreto.

Saúdo-os, como Diretor de Eventos do IBRACON, apresentando as novidades do 58º Congresso Brasileiro do Concreto (58º CBC), que acontecerá de 11 a 14 de outubro, promovido pelo IBRACON. Reconhecido como o evento de maior relevância para a cadeia do concreto no Brasil, este congresso consiste em uma oportunidade ímpar de estar em contato com as novas tecnologias e materiais empregados nas edificações, buscando construções eficazes, duráveis e de desempenho satisfatório aos usuários.

Nesta edição, o 58º CBC será sediado em Belo Horizonte, Minas Gerais, trazendo em sua programação debates sobre a tecnologia do concreto e a normalização técnica, e promovendo, através de suas sessões científicas, a divulgação das tecnologias inovadoras em termos de produtos e processos, obtidas através do desenvolvimento das pesquisas científicas e tecnológicas.

Nesta edição, realizaremos seis excelentes seminários, com os seguintes temas:

- Obras emblemáticas – 2ª edição;
- Concreto autoadensável – 3ª edição;
- Ensaios não destrutivos;
- Novas tecnologias;
- Ensino da Engenharia;
- Boas práticas na execução das estruturas de concreto.

Teremos ótimas palestras internacionais, com pesquisadores de renome no cenário mundial, como os doutores Robert Stark, Hugo Corres e Donald Macphee, através dos quais os congressistas poderão conhecer as maiores inovações e tecnologias para o aprimoramento das estruturas e construções.

As inscrições para o evento já estão disponíveis online, através do site do IBRACON. Destaco que para esta edição do congresso, fizemos um grande esforço para garantir a participação expressiva do público. Reduzimos despesas, sem alterar a qualidade do evento, o que nos permitiu não reajustar as inscrições e até reduzir os valores, como para o aluno de graduação sócio do IBRACON, que poderá participar do evento com R\$500,00 para inscrições antecipadas.



Ainda, em conjunto com a Diretora de concursos estudantis, conseguimos promover a cortesia do jantar de gala do IBRACON para os primeiros 300 alunos que se inscrevem no evento, desde que participem de algum concurso estudantil.

Serão ofertados cursos, de adesão opcional, com os temas de estruturas de concreto pré-fabricadas, projetos de lajes em concreto armado e protendido, e ensaios destrutivos e não destrutivos para avaliação de estruturas de concreto. Todos os créditos dos cursos são válidos para o programa de Educação Continuada Master PEC, conduzido pela Diretoria de Cursos.

Será realizada nova edição da competição acadêmica OUSADIA, propondo

uma obra de arte em concreto que garanta acessibilidade da Rua Sapucaí ao túnel de acesso ao Metrô/Praça da Estação, contemplando a requalificação urbanística para a Rua Sapucaí e seu entorno, localizada no bairro Floresta da cidade de Belo Horizonte. Dessa forma, propõe-se que os estudantes possam solucionar um problema real, vivenciando o trabalho criativo de engenharia civil e arquitetura e urbanismo. Os demais concursos serão mantidos, visando o desenvolvimento de composições avançadas de concreto, como o concreto de alta performance colorido, o concreto leve para o Concrebol e o concreto resistente do aparato de proteção ao ovo (APO). Esses concursos garantem ambiente de conhecimento e aplicação da ciência do concreto para os estudantes.

A expectativa da equipe organizadora é de superar o público médio de 1000 pessoas, possibilitando capacitação para um grande número de interessados.

Tenho certeza de que o evento será um sucesso! A bem da verdade já é, uma vez que inúmeros e bons artigos foram recebidos e estão em fase final de avaliação, garantindo o sucesso em termos de exposição das pesquisas no setor.

Em nome da comissão organizadora, afirmo que o esforço tem sido grande para manter a qualidade dos últimos congressos, envolvendo o público, qualificando o mercado e proporcionando muito conhecimento.

Conto com sua presença, nos vemos em Belo Horizonte.

BERNARDO TUTIKIAN
DIRETOR DE EVENTOS DO IBRACON

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL: fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

LI QUE O SENHOR É UM ESPECIALISTA EM ALVENARIA ESTRUTURAL. POR ISSO, COMO PRECISO DE ALGUÉM QUE SAIBA MAIS SOBRE ESSE ASSUNTO PARA ME ESCLARECER ALGUMAS DÚVIDAS, DECIDI LHE ESCREVER, POIS NINGUÉM PARECE TER MUITA CERTEZA DO QUE DIZ A RESPEITO. GOSTARIA DE SABER SE É PERMITIDO FAZER FUROS DE 7CM DE DIÂMETRO EM UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL PARA ATRAVESSAR UMA TUBULAÇÃO DE AR CONDICIONADO SPLIT DE UM CÔMODO PARA OUTRO. OU SEJA, SEI QUE NÃO É POSSÍVEL EMBUTI-LOS, MAS NINGUÉM SABE DIZER SE UM FURO TÃO PEQUENO COMPROMETERIA A ESTRUTURA. MAS COMO NÃO QUERO QUE NENHUM PRÉDIO CAIA POR UMA DECISÃO PRECIPITADA, GOSTARIA DE SABER SE O SENHOR PODE ME DAR ALGUMA INFORMAÇÃO A RESPEITO. AGRADEÇO DESDE JÁ E PEÇO DESCULPAS PELO INCÔMODO.

PATRÍCIA FONSECA

SERVIDORA PÚBLICA FEDERAL

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
– CEFET-MG

É preciso avaliar como um todo. Realizar um furo de 7 cm cruzando uma parede estrutural de comprimento razoável, com o furo executado com equipamentos corretos e cuidado, não compromete a estrutura. O ideal é fazer esse furo na canaleta grauteada, no respaldo da laje. É melhor que esse detalhe já faça parte do projeto original, permitindo que seja executado antes do grauteamento da canaleta, deixando um tubo para passagem de instalações.

GUILHERME A. PARSEKIAN, COORDENADOR DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL DA UFSCAR E PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

GOSTARIA DE PARABENIZÁ-LO PELA EXCELENTE DISCUSSÃO SOBRE O COBRIMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. FOI UMA EXCELENTE AULA HISTÓRICA E TÉCNICA. A CADA DIA APRENDO MAIS E MAIS COM O SENHOR. RECORDE-ME DE QUANDO TE CONHECI PESSOALMENTE NO CONGRESSO NACIONAL DE PATOLOGIA EM SOBRAL, NO CEARÁ, NO ANO DE 2003, QUANDO EU ERA FORMANDO.

GOSTARIA DE TIRAR UMA DÚVIDA SOBRE O TEMA. TENHO ACOMPANHADO ALGUMAS EDIFICAÇÕES AQUI EM SALVADOR, PRÓXIMAS À ÁREA LITORÂNEA, EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO DAS ARMADURAS EM LAJES E VIGAS. ESPECIFICAMENTE NOTEI NAS LAJES NOTEI COBRIMENTOS QUE VARIAM DE 5MM A 15MM. PELA ATUAL TABELA 3 DA NBR 6118, A RECOMENDAÇÃO É QUE O COBRIMENTO SEJA DE 35MM, JÁ QUE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL É TIPO III.

NESTE CASO, APÓS O TRATAMENTO DA CORROSÃO, É RECOMENDADO QUE SE FAÇA UMA CAMADA DE COBRIMENTO (GROUT OU PROJEÇÃO DE ARGAMASSA POLIMÉRICA) PARA SE ATINGIR OS ATUAIS LIMITES NORMATIVOS, COM VISTAS À MANUTENÇÃO DA DURABILIDADE DA ESTRUTURA OU UMA PINTURA EPOXÍDICA PODERIA RESOLVER O PROBLEMA?

PROF. DSC. FRANCISCO GABRIEL SANTOS SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA

Obrigado pelas amáveis palavras. Fico feliz em saber de seu progresso e vitórias, e de que hoje esteja professor universitário. Muito bom, mas não se afaste nunca do meio produtivo (construção e projeto) porque fazemos ciência aplicada, não ciência básica.

Gostei de sua dúvida. Em princípio, nos casos de retrofit deveríamos restabelecer a estrutura colocando-a dentro dos prescrições atuais. Então, no caso de durabilidade e corrosão de armadura, de-

veríamos aumentar o cobrimento até ficar conforme com ABNT NBR 6118 e 12655. Não existe uma regra geral consensual e acordada nem normalizada. Cabe sempre dialogar com o Proprietário. Em geral eu adoto:

- 1. No caso de obra de reparo localizado deixar como foi projetado e executado. No caso de obra geral de retrofit, na qual vai haver novo 'Habite-se' e novos proprietários, convém aumentar cobrimentos para ficar dentro das prescrições atuais;*
- 2. Obra Pública convém deixar dentro da lei e obra privada depende de dialogar com proprietário;*
- 3. As normas prescrevem espessura de concreto, mas argamassas estruturais de areia e cimento e grouts são considerados concretos. Podemos chapiscar e aplicar argamassas de areia e cimento ou escarificar e aplicar graute com fômas tipo cachimbo;*
- 4. Também se pode aplicar pintura superficial, mas isso não está contemplado nas normas. Pode ser pintura com caiação renovada a cada ano, ou com tinta 100% acrílica para exteriores (MetaLatex ou Suvinil) renovada a cada 4 anos (ver NBR 15575); ou tinta ou verniz poliuretânico ou epóxi (não pode receber luz do sol) renovados a cada 8 anos (ver ANBT NBR 15575).*

Porém, lembre-se que o maior problema é incêndio. No caso que dependa de liberação do Corpo de Bombeiros, será necessário pintar com tinta intumescente ou aumentar cobrimento de concreto. Não serve pintura imobiliária usual.

PAULO HELENE, DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS DO IBRACON E MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL



RESISTÊNCIA DO CONCRETO

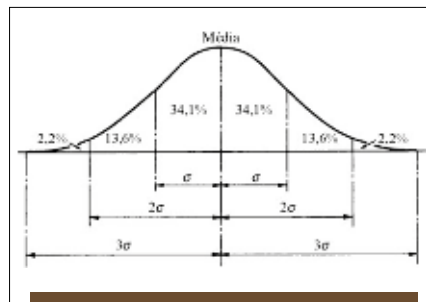
QUAL É A JUSTIFICATIVA PARA UM RESULTADO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS APRESENTAR UM VALOR INFERIOR AO RESULTADO DE 7 DIAS?

JÉSSIKA PACHECO

ENGENHEIRA CIVIL

A variação da resistência dos concretos convencionais de cimento Portland, não incluindo, portanto, os concretos de alto desempenho, ocorre em função do grau de hidratação do cimento e da forma de desenvolvimento e embricamento dos cristais, supondo-se sempre crescente com o aumento da idade sob condições adequadas de cura (temperatura adequada, com a necessária quantidade de água e sem a presença de agentes deletérios). A dinâmica das reações de hidratação, supondo-se água de amassamento e agregados isentos de matéria orgânica ou outros contaminantes, dependerá da composição química e da finura do cimento, da relação água/cimento, da temperatura do meio ambiente e da eventual ação de aditivos plastificantes, aceleradores de pega ou endurecimento e outros. Observe-se inicialmente que há uma variabilidade natural na resistência de corpos de prova produzidos com o mesmo concreto, em função da aleatoriedade verificada nos processos de moldagem, transporte e estocagem dos corpos de prova. Nessa variabilidade interfere ainda o tamanho e a forma do corpo de prova, seu processo de obtenção (moldagem ou extração), as características e a forma de execução do ensaio (qualidade da prensa de ensaios, regularidade do acabamento dos corpos de prova, velocidade de carregamento e outras). Para concluir-se pela diferença significativa de resistência entre duas amostras, extra-

ídas ou não do mesmo concreto, há necessidade de tratamentos estatísticos, que partem sempre do pressuposto de que a aleatoriedade anteriormente referida conduz a resultados de resistência que obedecem a uma distribuição Normal, ou curva de Gauss, conforme indicado na figura 1.



► **Figura 1**

Curva de distribuição normal/percentuais típicos de resultados de CPs de concreto em torno da média
(Adam Neville – Propriedades do Concreto – 5ª edição)

Ao encontro à sua pergunta, e supondo-se que seja muito pequena a diferença de resistência observada entre CPs ensaiados aos sete e aos vinte e oito dias, pode-se supor que:

- o concreto foi preparado com cimento de altíssima resistência inicial, fazendo com que sua resistência potencial fosse quase que totalmente desenvolvida após sete dias do início das reações de hidratação; ou seja, pode ser que, na realidade, não existia diferença estatisticamente significativa entre a resistência de CPs dos dois grupos (ensaios aos sete ou aos 28 dias);
- por coincidência, CPs ensaiados aos sete dias alojaram-se sempre próximos à calda da direita da distribuição Normal anteriormente ilustrada, enquanto que CPs ensaiados aos 28 dias alojaram-se próximos à calda da esquerda;

- ocorreram diferenças importantes no preparo e/ou nos ensaios dos CPs, com falta de controle de variáveis importantes, incluindo até mesmo a mudança de equipamento de ensaio e/ou do próprio operador / técnico de laboratório;
- ocorreram problemas no transporte dos corpos de prova (choques, vibração excessiva, ação do calor etc);
- em função do posicionamento na prensa, ou acabamento irregular dos corpos de prova, ocorreram concentrações de tensão, resultando aos 28 dias rupturas ocorridas sob importante influência de tensões tangenciais (e não simples tensões normais de compressão);
- foram inadequadas as condições de cura entre os sete e os 28 dias de idade, podendo, por exemplo, ter ocorrido retração considerável do concreto, com o desenvolvimento de microfissuras superficiais e/ou destacamentos localizados entre a pasta e os agregados graúdos, com conseqüente redução na resistência à compressão do concreto; temperaturas muito baixas podem também ter “congelado” os processos de reação química;
- caso não sejam verdadeiras as hipóteses anteriores, ocorreu alguma anomalia no interior da massa (início de reação álcali-agregado, reações expansivas decorrentes da presença de sulfatos, presença de algum agente inibidor da continuidade das reações de hidratação etc), cujo diagnóstico requer investigações bastante aprofundadas.

ENGº ERCIO THOMAZ – PESQUISADOR DO CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO DO IPT (CETAC) E MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL

Engenharia Estrutural – Portfólio



Valorizar o projeto estrutural de obras espalhadas pelo país. Este foi o propósito do livro “Engenharia Estrutural – Portfólio”, lançado recentemente pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural de Minas Gerais (ABECE-MG).

O livro reúne 165 obras de 33 escritórios de projetos estruturais associados à regional mineira da ABECE. Com 152 páginas, o livro traz informações e imagens dessas obras, bem como apresenta os escritórios associados, suas equipes de profissionais e as principais obras realizadas por eles.

Patrocinado pela ArcelorMittal Brasil, Atex Brasil e Belgo Bekaert Arames, o livro está sendo distribuído pela ABECE aos escritórios de arquitetura, construtoras, universidades e associações do setor de construção civil.

JORNADA INTERNACIONAL ABCIC 2016

Estruturas Pré-moldadas de Concreto

Evento voltado para empresários do setor produtivo e empresas usuárias de pré-moldados de concreto, projetistas de arquitetura e estruturas, gerentes de engenharia, produção e obras, coordenadores de projeto gerenciadores, meio acadêmico (professores e pesquisadores), profissionais das empresas fornecedoras de materiais insumos e serviços.

LOCAL DE REALIZAÇÃO:

Millenium Centro de Convenções
São Paulo/SP

22/09 **7º SEMINÁRIO INTERNACIONAL Abcic**
INOVAÇÃO E OUSADIA PARA VENCER OS ATUAIS DESAFIOS E GERENCIAR O FUTURO

PATROCÍNIO:      

23/09 **CURSO INTERNACIONAL Abcic - fib**
UMA VISÃO GLOBAL ATRAVÉS DO MANUAL DE PLANEJAMENTO E PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO E A VIABILIDADE DOS EDIFÍCIOS ALTOS E DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS.
AN OVERVIEW THROUGH THE NEW FIB PLANNING AND DESIGN HANDBOOK ON PRECAST BUILDING STRUCTURES – EMPHASIZE MULTI STORE AND TALL BUILDINGS

PATROCÍNIO:  

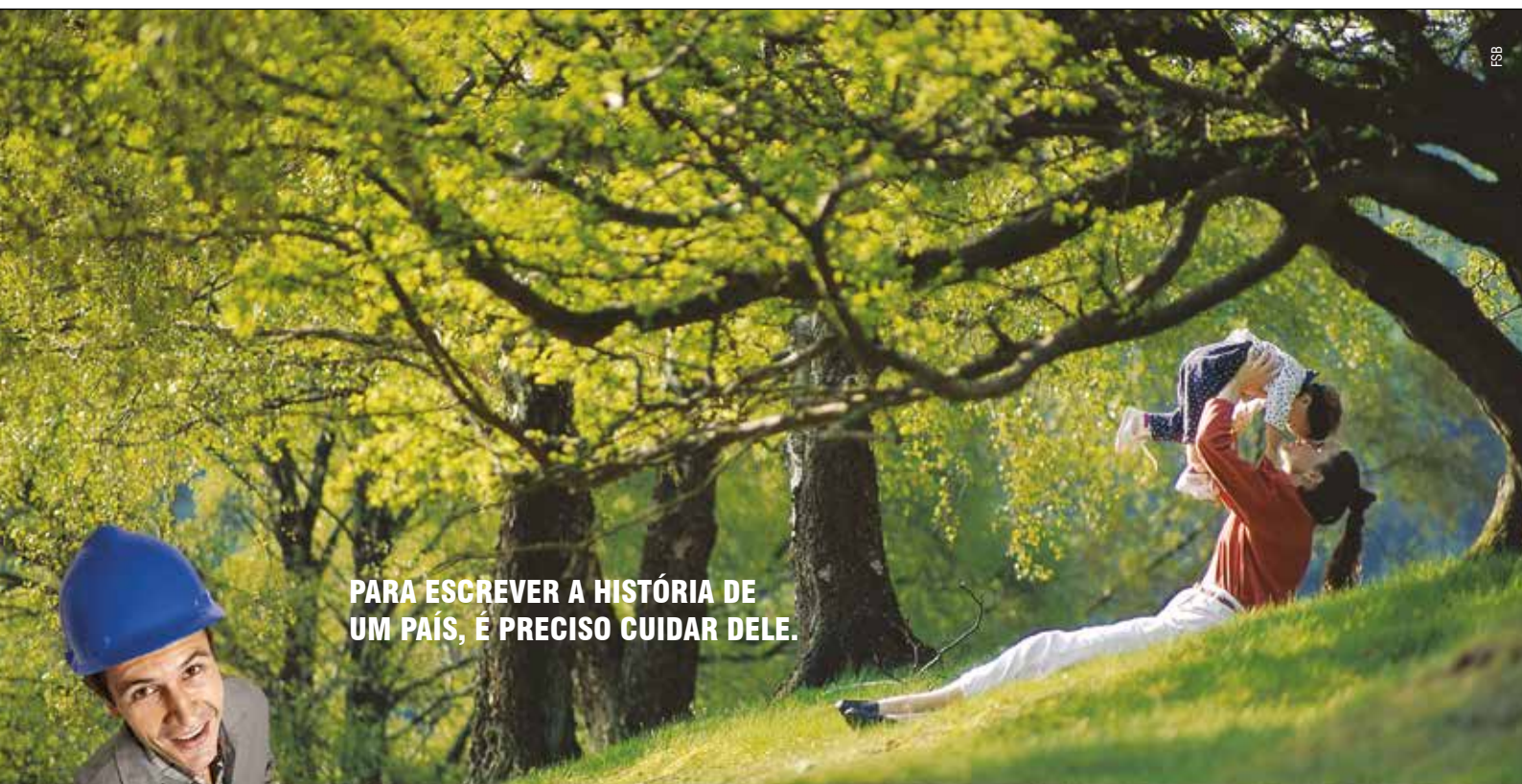
TRADUÇÃO SIMULTÂNEA EM AMBOS OS EVENTOS: SEMINÁRIO E CURSO
(PORTUGUÊS – INGLÊS / INGLÊS – PORTUGUÊS)

REALIZAÇÃO:  

Guia de Ética & Compliance para Instituições e Empresas da Construção Civil



A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) lançou recentemente seu Guia de Ética & Compliance para o setor. Baseado no Guia para Programas de Compliance do Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Cade), na cartilha da extinta Secretaria de Direito Econômico sobre Combate a Cartéis em Sindicatos e Associações, e no Pacto Global pelo Combate à Corrupção da Organização das Nações Unidas (ONU), o código da CBIC pretende servir como referência e sugestão para que entidades e empresas do setor construtivo criem suas próprias políticas de ética e transparência, prevenindo crises e infrações concorrenciais, valorizando sua reputação e garantindo um ambiente competitivo saudável. O Guia CBIC pode ser obtido gratuitamente no site: www.cbic.org.br.



PARA ESCREVER A HISTÓRIA DE UM PAÍS, É PRECISO CUIDAR DELE.

Para um país crescer, é preciso investimento. Mas é necessário também pensar no meio ambiente, na sociedade e nas futuras gerações.

A indústria do cimento investe em qualidade e utiliza as tecnologias mais avançadas para promover um desenvolvimento sustentável. Colabora ainda para tornar o meio ambiente mais limpo com o co-processamento: a destruição de resíduos industriais e pneus em seus fornos.

Onde tem gente tem cimento.





Equipe vencedora do CONCREBOL 2015 conquista prêmio internacional

A equipe do Centro Universitário FEI (Fundação Educacional Inaciana “Pai Sabóia de Medeiros”), vencedora do Concurso CONCREBOL 2015, ganhou na categoria “Desempenho” o concurso *FRC Bowling Ball Competition*.

O CONCREBOL é um concurso técnico promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto que desafia os estudantes de engenharia civil a construir uma esfera de concreto leve, com dimensões pré-estabelecidas, resistente, homogênea e que

role em trajetória retilínea. Ele é realizado anualmente durante as edições do Congresso Brasileiro do Concreto.

Já, o *FRC Bowling Ball Competition* é realizado pelo *American Concrete Institute* (ACI). A edição de 2016 aconteceu em Milwaukee, nos Estados Unidos, entre os dias 17 e 21 de abril. Ao todo, foram inscritas 57 bolas de 10 países (Brasil, Equador, México, EUA, Canadá, Porto Rico, Índia, Guatemala, Egito e Peru). A equipe da FEI foi a única representante do Brasil.

No concurso do ACI é verificada a homogeneidade das esferas de concreto através do seu diâmetro e do ensaio do boliche. A resistência é avaliada através da média das cargas nos deslocamentos de 5, 10, 15, 20 e 25mm, ou seja, a esfera deve apresentar tenacidade.

Na confecção do traço do concreto para a esfera, o Concurso do ACI permite o uso de fibras e a colocação de um núcleo especial. A densidade da esfera da equipe girou em torno de 1100 kg/m³.

Cinpar 2016

O Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas vai ser realizado na cidade do Porto, em

Portugal, de 26 a 29 de outubro.

O evento objetiva discutir os métodos de inspeção das estruturas e de caracteriza-

ção dos materiais e as soluções de reabilitação e reforço das estruturas de concreto.

→ **Informações:** <https://www.fe.up.pt/cinpar>



OBTENHA GRANDES VÃOS E REDUZA CERCA DE **30% NOS CONSUMOS DE CONCRETO E AÇO** EM SUA OBRA

A ATEX®, pioneira no Brasil em fôrmas para lajes nervuradas, está sempre inovando e aprimorando sua qualidade para atender cada vez melhor o mercado.

A ATEX® disponibiliza a maior gama de fôrmas com mais de 92 opções para que seu projeto se adeque às mais diferentes exigências e normas do mercado.



ABNT 15200

As lajes ATEX® atendem as exigências da NBR 15200 da ABNT.



ABNT 15575-3

Atendem a Norma de Desempenho NBR 15575-3 Acústica.



ATENDEMOS TODO O BRASIL
0800 979 3611
www.atex.com.br

IABMAS 2016

A Conferência Internacional sobre Manutenção, Segurança e Gerenciamento de Pontes (IABMAS, na sigla em inglês), foi realizada de 26 a 30 de junho, em Foz do Iguaçu, no Brasil, com organização da Associação Internacional para Manutenção e Segurança de Pontes e da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Com a presença de 336 pessoas vindas dos cinco continentes, entre estudantes,

pesquisadores e profissionais, a Conferência apresentou o estado da arte, os conceitos emergentes e as aplicações inovadoras do campo de engenharia de pontes, contribuindo para melhorar o diagnóstico de patologias e a identificação de danos, os sistemas de manutenção, a modelagem de deterioração, o monitoramento e a avaliação do ciclo de vida de pontes, entre outros temas.

O presidente do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Eng. Julio Timerman, esteve presente no evento, que foi coordenado pelo vice-presidente do Instituto, Prof. Tulio Nogueira Bittencourt. Conjuntamente com a Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto (ABCIC), o IBRACON divulgou suas atividades num estande num espaço de exposição no evento.

XVIII COBRAMSEG

Com mais de 1200 trabalhos técnico-científicos inscritos, o Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica acontece entre os dias 19 e 22 de outubro, em Belo Horizonte. Presenças confirmadas são os palestrantes Luis Valenzuela (diretor da Arcadis Chile), es-

pecialista em barragens de rejeitos, Roger Frank (presidente da *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering*), diretor do Laboratório Central de Pontes e Viadutos da França, na área de mecânica dos solos e fundações, Scott Olson (professor da Universidade de Illinois nos Es-

tados Unidos), autor do conhecido método de análise de estabilidade de barragem ao efeito de liquefação de solos e Krishna Reddy (professora da Universidade de Illinois), especialista em engenharia geoambiental. As inscrições estão abertas no site: → <http://cobramseg2016.com.br>

consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte



soluções de qualidade

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996, conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3656.9289



ICAAR 2016

Realizada pela primeira vez na América Latina, a 15ª Conferência Internacional sobre a Reação Álcali-Agregado (ICAAR 2016) aconteceu de 3 a 7 de julho, no Maksoud Plaza Hotel, em São Paulo, com realização conjunta do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Unesp de Ilha Solteira.

No evento foram apresentados 129 trabalhos técnico-científicos, sendo 103 em sessões orais e 26 em sessões pôsteres.

Além das sessões foram realizadas seis palestras temáticas e uma visita técnica à Usina Hidrelétrica de Jaguari, localizada no Rio Paraíba do Sul. O evento contou com a participação de 196 profissionais, 80% deles estrangeiros, vindos de 21 países. Com periodicidade quadrienal, a primeira ICAAR foi organizada na Dinamarca, em 1974. Desde então, o evento consolidou-se como o mais importante fórum de debates sobre a re-

ação álcali-agregado em todo mundo. O presidente do IBRACON, Julio Timerman, participou das cerimônias de abertura e encerramento da ICAAR 2016, o conselheiro Selmo Kuperman e o diretor-tesoureiro Cláudio Sbrighi Neto integraram o Comitê Científico e o Conselho de Revisores do evento.

Estão à venda na Loja Virtual do IBRACON (www.ibracon.org.br) os Anais do evento.

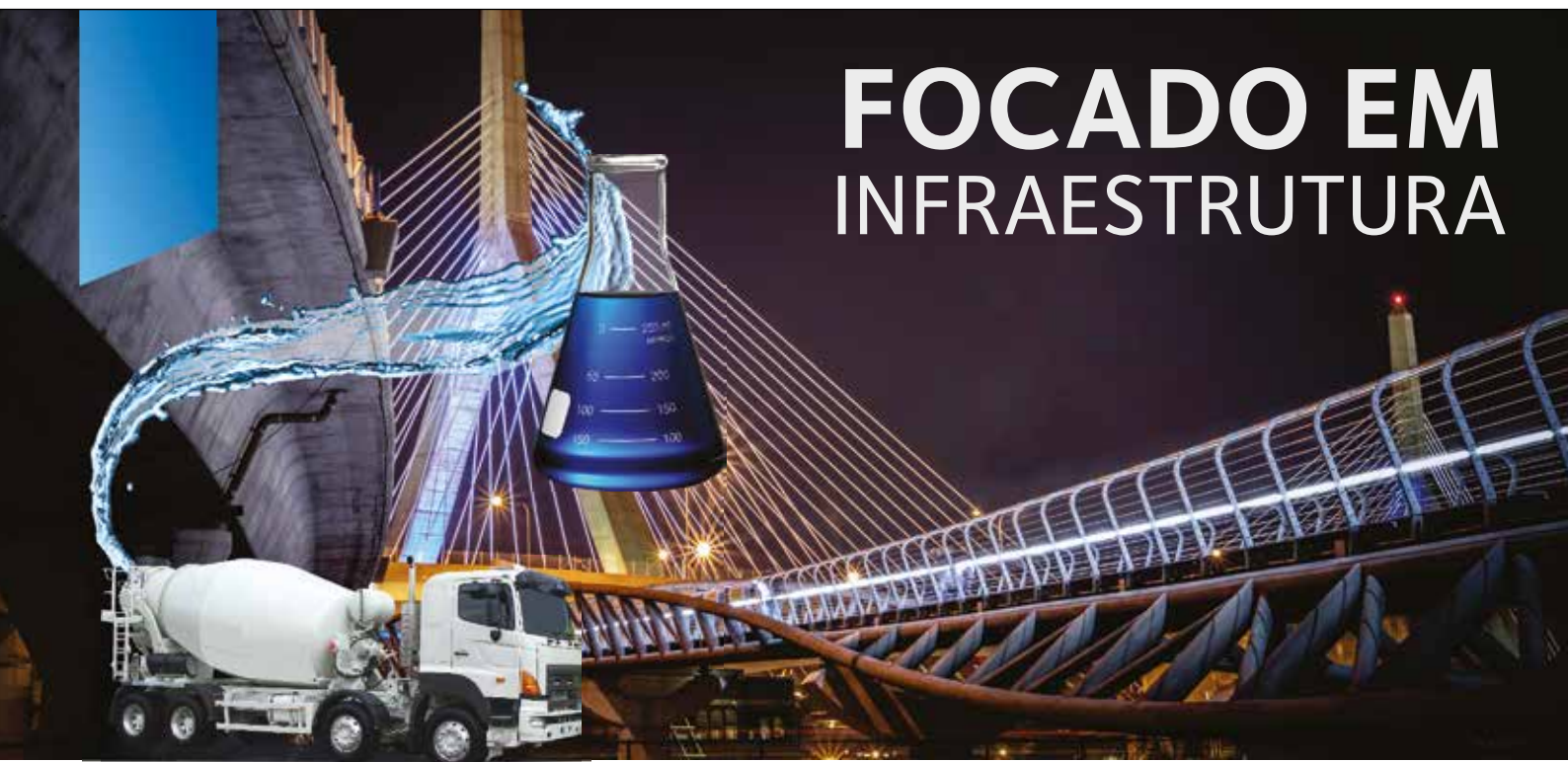
IBRACON marcou presença na Concrete Show 2016

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON esteve presente no tradicional ponto de encontro da Concrete Show South America, feira de negócios em tecnologia de sistemas à base de cimento, que acontece de 24 a 26 de agosto, no São Paulo Expo. Nesta edição – comemorativa dos 10 anos

da feira e de 80 anos da Associação Brasileira de Cimento Portland – o evento contou a história da ABCP e fez uma homenagem ao arquiteto Ruy Ohtake, com uma exposição de fotos de suas obras, que consagram a flexibilidade de formas do concreto, e com uma palestra dele no Concrete Congress,

que abordou os princípios norteadores em seus projetos arquitetônicos, como conforto, bem-estar, inovação, dignidade, estética, sustentabilidade, entre outros.

O corpo diretivo do IBRACON compareceu em todos os dias da feira, estreitando relacionamentos e ideias com os participantes.



FOCADO EM INFRAESTRUTURA

A MARCA QUE VOCÊ CONHECE E CONFIA TEM UM NOVO NOME

Mais informações sobre as últimas inovações em GCP - visite nosso website: GCPAT.com/innovation

GRACE


gcp applied technologies
GRACE CONSTRUCTION & PACKAGING

Estruturas pré-fabricadas de concreto



O curso integra o Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto (Master PEC), sistema de cursos do Instituto Brasileiro do Concreto que objetiva a difusão do conhecimento sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos de uma forma sistêmica, ética, com responsabilidade social e ambiental.

Seu objetivo é introduzir o uso das estruturas pré-fabricadas de concreto, abordando seu processo (projeto, produção e montagem), a normalização cabível e algumas aplicações.

Seu instrutor é o Eng. Carlos Franco, profissional com experiência de mais de 16 anos no Escritório Julio Kassoy e Mario

Franco, que atuou como assessor técnico na Pavi do Brasil e foi gerente de projetos na Stamp Painéis Arquitetônicos, sendo atualmente diretor da CAL-FAC Consultoria e Engenharia.

O curso vai ser realizado no dia 12 de outubro, das 14h às 18h, no Minascentro, em Belo Horizonte.



A experiência de quem saber fazer.

A Mega Concreto chega com uma equipe motivada e liderada por profissionais experientes que gostam de desafios. Não é a toa que muitas das histórias do concreto no Brasil foram escritas por eles e pelo visto escreverão muitas mais.

Nossa estrutura

- 120 m³/h de produção de concreto de qualidade.
- Produção e entregas informatizadas.
- Precisão e rapidez no atendimento.
- Estrutura eficiente de pós-venda.
- Soluções para obras de pequeno, médio e grande porte.
- Usinas de canteiro.

11 3616.2244 www.megaconcreto.com.br



Projeto de lajes em concreto armado e protendido

O curso pretende dar uma visão geral do projeto de lajes, abordando os tipos de lajes, vãos máximos, espessura mínima, ações atuantes, metodologia de cálculo de laje lisa em uma e duas direções, cálculo de laje nervurada em uma e duas direções, flechas, fluência, momento

de fissuração, punção e vibrações. Seu instrutor, o Eng. Fábio Albino de Souza, foi professor do Centro Universitário Adventista de São Paulo e das Faculdades Metropolitanas de Campinas, tendo recebido a certificação internacional na área de protensão "Certified Field

Personal Directory" do Post Tensioning Institute. Atualmente é diretor do Escritório Brasileiro de Protensão. O curso será realizado no dia 13 de outubro, das 9h às 18h, no Minascentro, em Belo Horizonte. Ele integra o Programa Master PEC do IBRACON.

Ensaio destrutivos e não destrutivos para avaliação de estruturas de concreto

O curso vai oferecer uma visão geral dos ensaios destrutivos e não destrutivos para avaliação de estruturas de concreto, ministrado pelos seguintes especialistas:

- ▶ Prof. Paulo Helene (USP) vai tratar da extração de testemunhos de concreto segundo a ABNT NBR 7680-1:2015;
- ▶ Eng. Rodrigo Moyses Costa (Ultra-lab)

mostrará as aplicações da esclerometria e do ultrassom;

- ▶ Maria Teresa Paulino Aguilar (UFMG) abordará os ensaios de resistividade elétrica volumétrica, frequência ressonante forçada e termografia;
- ▶ Enio Pazini Figueiredo (UFG) explicará os ensaios eletroquímicos de potencial

de corrosão, a resistência de polarização e a resistividade elétrica superficial.

O curso, que será realizado dia 14 de outubro, das 9h às 18h, em Belo Horizonte, contará com aulas práticas no Laboratório de Caracterização de Materiais de Construção Civil e Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. ↩

Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

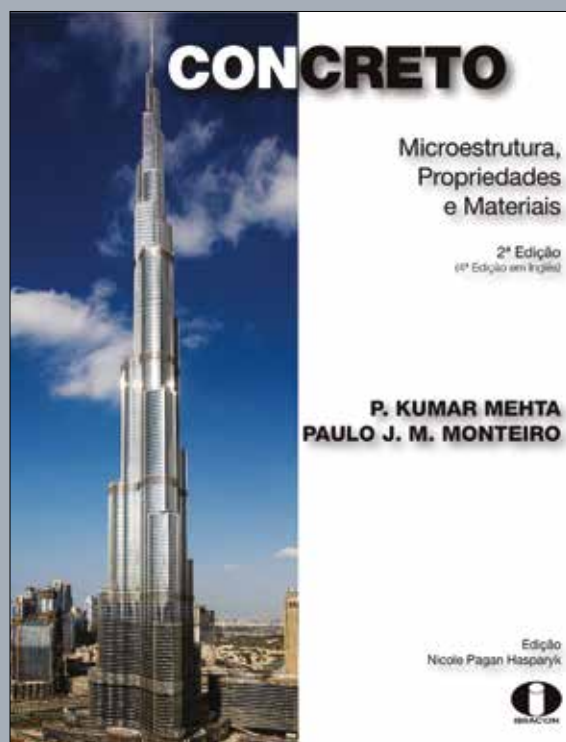
- **Autores** P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro (Universidade da Califórnia em Berkeley)
- **Coordenadora da edição em português** Nicole Pagan Hasparyk (Eletrobras Furnas)
- **Editora** IBRACON • 4ª edição (inglês) • 2ª edição (português)

Guia atualizado e didático sobre as propriedades, comportamento e tecnologia do concreto, a quarta edição do livro "Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais" foi amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural mais amplamente utilizado. Cada capítulo é iniciado com uma apresentação geral de seu tema e é finalizado com um teste de conhecimento e um guia para leituras suplementares.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-21-3
Edição: 2ª edição
Formato: 18,6 x 23,3cm
Páginas: 782
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2014



Patrocínio





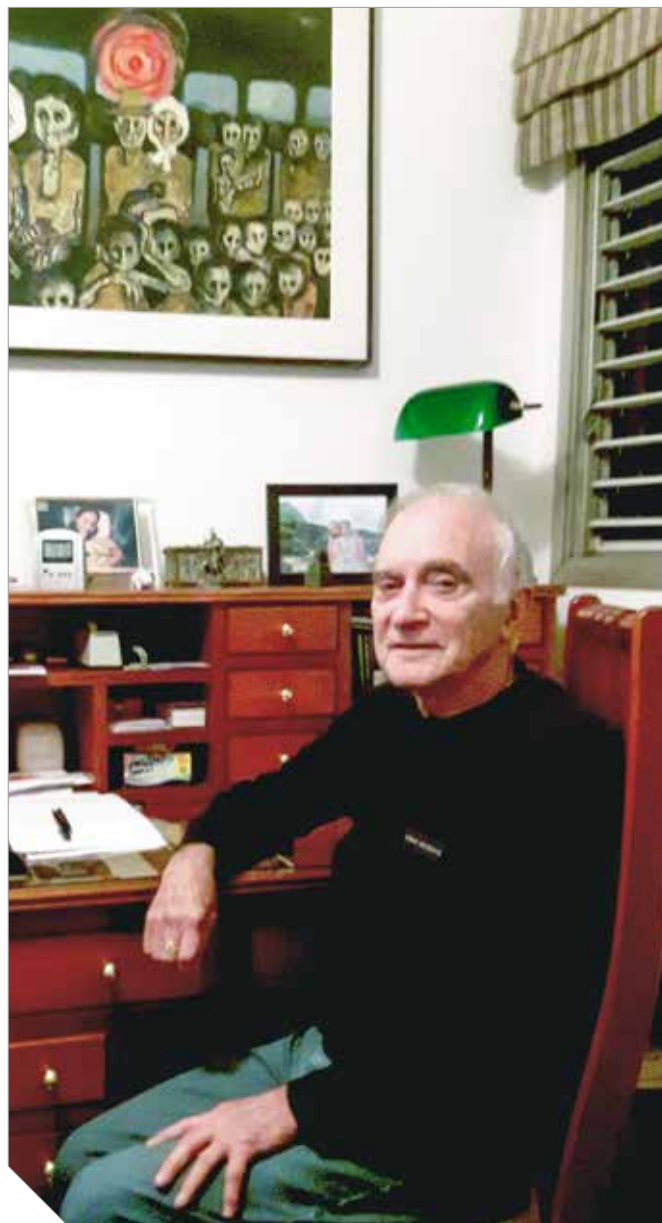
Há 80 anos, de portas abertas para o futuro.

Completamos 80 anos. Não só de história, mas de credibilidade, dedicação e qualidade comprovadas. Por isso, agradecemos a todos os nossos consumidores, que nos permitiram entrar e cuidar de suas casas durante tanto tempo. Para nós, esse é só o começo.

Construir o futuro faz parte da nossa história.

VEDACIT[®] **80**
impermeabilizantes **anos**

Vladimir Antonio Paulon



Direcionado para a engenharia civil por seu irmão mais velho, Vladimir Paulon formou-se, em 1963, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Após um período de cinco anos na França-país que visita todos os anos, onde fez vários amigos-passou pelo Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul (ITERS), pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pela EPT, antes de chegar a Promon, em 1975, onde permaneceu grande parte de sua vida profissional, como funcionário e consultor, assessorando grandes projetos de infraestrutura no país, principalmente a construção de barragens, bem como outros tipos de obras, como a construção de escolas pré-moldadas do programa educacional do governo Collor.

De seu contato com a construção de barragens, veio o interesse pela reação álcali-agregado (RAA), reação química entre os álcalis do cimento e os agregados reativos, que, na presença de água, forma um gel expansivo que pode causar a fissuração do concreto. A RAA foi tema de seu mestrado, obtido na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 1982. Com os casos recentes das fundações das edificações de Recife apresentando RAA, Paulon voltou ao tema em seu pós-doutoramento pela Universidade de Berkeley. Conjuntamente à sua vida corrida de consultor, visitando obras por todo país, Paulon dedicou-se também às aulas na Universidade de Campinas (UNICAMP) desde 1972, onde se aposentou compulsoriamente. “O sagrado para mim sempre foi dar aulas”, confidenciou.

IBRACON – VOCÊ PODERIA DISCORRER SOBRE OS MOTIVOS E CIRCUNSTÂNCIAS QUE O LEVARAM A SE FORMAR ENGENHEIRO CIVIL E A SE ESPECIALIZAR EM CONSULTORIA DE OBRAS DE BARRAGENS E OUTRAS OBRAS DE GRANDE PORTE.

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Eu não conhecia outras profissões em minha época de ingressar na faculdade e não ser engenharia civil, medicina e advocacia, áreas mais fortes na graduação em Porto Alegre. Acabei optando pela engenharia civil porque meu irmão, bem mais velho do que eu, era engenheiro civil. Eu já tinha naquela época o hábito de visitar seu escritório e ajudar nos desenhos de arquitetura. Por isso, fui praticamente direcionado para a profissão.

Ao me formar pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1963, fui trabalhar num escritório de engenharia em Paris como desenhista de arquitetura. Em seguida, ganhei uma bolsa do governo francês para estudar concreto protendido. Por ter gostado das aulas do Prof. Robert L’Hermite, fui trabalhar em pesquisa no Laboratório do *ITBS (Institute Technique du Bâtiment et des Travaux Publics)* em Paris, direcionando-me para a área de tecnologia do concreto. Voltei para o Brasil em 1968. Por um curto período trabalhei no Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul (ITERS), como chefe do serviço de dosagens, e, em 1969, fui convidado pelo Francisco Basílio, então presidente da Associação

Brasileira de Cimento Portland (ABCP), para ser chefe do recém-inaugurado Laboratório de Concreto, em São Paulo, onde fiquei por um ano. Em 1970, na EPT (Engenharia e Pesquisas Tecnológicas), o Eládio Petrucci, diretor técnico, encarregou-me da consultoria para a Barragem de Salto Osório, no Paraná, projeto da Copel/Eletrosul. Foi minha grande sorte: eu não conhecia nada de barragem, mas tive um tremendo professor ao meu lado, trabalhando em Salto Osório durante cinco anos. Com a morte do Petrucci, fui para a Promon, em 1975, trabalhar nos grandes projetos de barragens, como Itaipu, Água Vermelha, Xingó, Três Irmãos. A Promon era uma das cinco grandes projetistas da época, com projetos fabulosos, não só de barragens. Fiquei na Promon, como funcionário, até 1985, passando em seguida a dar consultoria aos seus projetos.

IBRACON – COMO CONSULTOR INDEPENDENTE VOCÊ PARTICIPOU DO PROJETO CAIC, DO MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, QUE USOU A ARGAMASSA ARMADA PARA A CONSTRUÇÃO DE ESCOLAS NUM VOLUME INÉDITO NO PAÍS. O QUE FOI O PROJETO CAIC (CENTRO DE ATENÇÃO INTEGRAL À CRIANÇA E AO ADOLESCENTE), QUAIS FORAM OS DESAFIOS PARA O ENGENHEIRO CONSULTOR E POR QUE ELE FOI TÃO IMPORTANTE EM SUA CARREIRA PROFISSIONAL?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Nos anos

90, como consultor da Promon, fui para o Rio de Janeiro assessorar o projeto dos CAICs, projeto do governo federal para a construção de escolas pré-moldadas em todo Brasil, nas quais as crianças permaneciam em tempo integral, em atividades de ensino e lazer. O plano inicial era construir cinco mil escolas até o final do Governo Collor, tendo sido atingidas 14 fábricas de peças pré-moldadas de argamassa armada e cerca de 480 escolas espalhadas pelo Brasil. Após ter construído três CAICs (Brasília, Rio de Janeiro e Paraná), o arquiteto Lelé (João Filgueiras Lima), idealizador do projeto, retirou-se, fazendo críticas à qualidade das construções. Ao assumir verifiquei que o projeto era único para todo o Brasil, o que resultava em problemas construtivos por causa das diferenças de clima entre as regiões. Devido às baixas temperaturas de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, as peças pré-moldadas não alcançavam o endurecimento necessário para a desforma em poucas horas, exigindo a espera de até 25 horas, inviabilizando o projeto. Para as peças despachadas para os estados abaixo do Rio de Janeiro, recomendamos a cura térmica das peças, com o aquecimento da água do tanque no qual as peças eram mergulhadas após cinco horas da moldagem, permanecendo por cinco dias. Para uma fábrica no Paraná, fizemos um túnel de cura a vapor das peças.

“

VERIFIQUEI QUE O PROJETO [CAIC] ERA ÚNICO PARA TODO O BRASIL, O QUE RESULTAVA EM PROBLEMAS CONSTRUTIVOS POR CAUSA DAS DIFERENÇAS DE CLIMA ENTRE AS REGIÕES

”

“

[NOS ENSAIOS DE ITAIPU] FOI
 CONSTATADA A REAÇÃO ÁLCALI-SILICATO,
 AO INVÉS DA REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA,
 UMA NOVIDADE NO BRASIL

”

Havia outros problemas. Os pilares eram moldados com duas fôrmas – uma externa e outra, interna, redonda, deixando espaço para drenagem da água de chuva. No projeto original, era colocada a fôrma interna de ferro, que era puxada imediatamente após a moldagem, causando irregularidades na peça. Substituí a fôrma interna de ferro por um tubo de PVC, que permanecia na peça.

A vibração das fôrmas durante a moldagem era feita com molas, o que marcava as peças em seu movimento dentro das fôrmas metálicas. Esse sistema de vibração foi trocado para que as peças não ficassem mal acabadas.

A impermeabilização era feita com cinco camadas de PVA, que facilitava a oxidação das armaduras das peças. Passou a ser feita com uma mistura de resina acrílica com cimento.

As peças de 2,5 cm de espessuras eram colocadas em pallets e transportadas até a obra, gerando no transporte muitas quebras, problema que foi solucionado com a modificação dos pallets e um manual para recuperação das peças.

Na especificação original era proibido o uso de aditivos, um consumo mínimo de 650 kg de cimento por metro cúbico de argamassa e relação água/cimento máxima de 0,55. Mudei para consumo máximo de 650 kg de cimento por metro cúbico e máxima relação água/cimento de 0,45, fácil de ser obtida com o uso de aditivos. Em Feira de Santana, não havia água para a construção das peças. O poço aberto acabou servindo como cisterna, enchida com caminhões-pipa. Havia ainda o problema com a qualidade das areias da região. Mesmo sem ter materiais adequados e água suficiente, a fábrica de Feira de Santana foi colocada em funcionamento.

Minha vida nessa época consistia em viajar no domingo, ir durante a semana até os locais de implantação das escolas, e, na sexta-feira, dar aula na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Comecei a dar aula na Unicamp, em 1972. De 75 a 76 fui professor na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ano em que voltei para a Unicamp, onde me aposentei compulsoriamente.

Apesar de minha vida agitada como consultor, o sagrado para mim era a sexta-feira, por causa das aulas.

IBRACON – SUA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO FOI SOBRE A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM CONCRETO, SENDO O TÍTULO DE MESTRE OBTIDO EM 1982. POR QUE A RAA MERECEU SUA ATENÇÃO COMO TEMA ACADÊMICO NAQUELE MOMENTO?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Meu primeiro contato com a reação álcali-agregado foi na construção da barragem de Salto Osório. Uma parte da jazida de agregados da região apresentou amígdalas, preenchidos com outro material. Verificamos que eram agregados reativos. Como houve necessidade de usá-los para o fechamento das adufas, foram tomados os cuidados preventivos necessários para que o concreto não apresentasse a reação álcali-agregado, como o uso de um cimento com baixo teor de álcalis.

Os primeiros estudos sobre RAA no Brasil foram feitos quando da construção da barragem de Jupirá. Sob orientação do Roy Carlson, foram efetuados ensaios de RAA sob coordenação do Heraldo de Souza Gitahy.

Em 1976, após não ter sido constatada RAA nos ensaios realizados no Brasil para a construção de Itaipu, fui enviado para a Universidade de Berkeley, para acompanhar os ensaios realizados lá. Neles foi constatada a reação



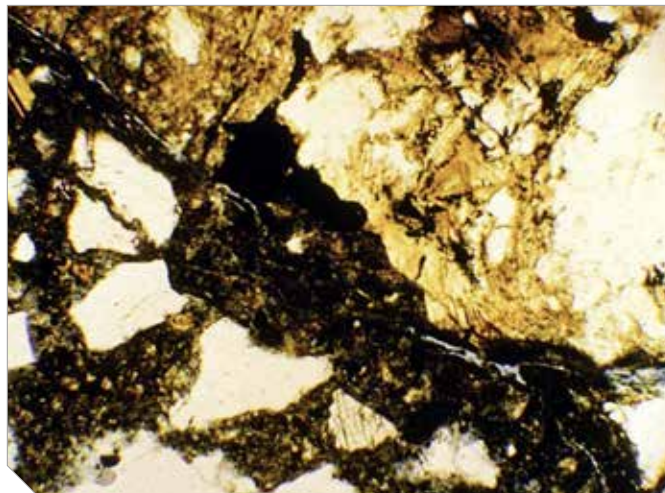
Vista da barragem de Salto Osório (Paraná)



álcali-silicato, ao invés da reação álcali-sílica, uma novidade no Brasil. Para inibir a reação expansiva adicionou-se ao concreto 15% de cinza volante. Por essas razões me interessei pela RAA como tema para meu mestrado, cuja parte prática foi sobre a experiência que tive em Salto Osório, os cuidados tomados em sua construção. Ainda nesta época tínhamos pouco conhecimento da RAA, principalmente sobre os casos de reação álcali-silicato. Nosso conhecimento avançou com os estudos na barragem de Moxotó. O relatório técnico da Promon sobre a causa da fissuração de Moxotó tinha três partes. Na primeira parte verificou-se se a vibração das máquinas podia ser a causa da fissuração. Na segunda parte foi verificado se havia algum problema com a fundação. A terceira parte, sob minha responsabilidade, associou a fissuração à reação álcali-agregado. A Promon resolveu tirar do relatório final a minha parte, alegando que, por eu ter feito minha dissertação de mestrado sobre a RAA, via a reação até onde ela não estava presente. Um dia recebo um telefonema do presidente da Chesf na época, respaldando minhas opiniões sobre o problema em Moxotó, porque a RAA era a única causa que havia sobrado nos estudos. Recomendei que fossem feitos ensaios no Canadá, com o Richard Mielenz, maior

autoridade no assunto na época. Aproveitei o fato de ter sido retirado um cilindro de concreto de toda a altura da barragem, para a colocação do pêndulo, para extrair uma quantidade grande de corpos de prova, de cotas diferentes da barragem. O relatório do Mielenz sobre os ensaios constatou que a reação álcali-agregado estava presente das fundações até o topo da barragem. Ela era muito forte embaixo, próximo às fundações, e diminuía de intensidade à medida que se subia, por causa da menor umidade. Mas havia RAA em toda a barragem. Quando o Mielenz veio ao Brasil para examinar de perto a barragem, o Simão Prizskulnik mostrou-lhe os corpos de prova das barragens de Paulo Afonso e seu parecer foi que havia também a reação álcali-silicato em Paulo Afonso. Em Moxotó a situação era crítica. A barragem era quase estrutural, construída com 350 kg de cimento por metro cúbico. Hoje usa-se 70 kg de cimento por metro cúbico. Em Água

CRÉDITO: ACERVO ABCP



Microfissuras na borda de agregado e argamassa. Aumento 10x

Vermelha, foram usados 150. Quer dizer: quanto mais cimento, mais reação! Além disso, a estrutura de Moxotó era muito delicada, com as máquinas praticamente penduradas no concreto. Por isso, qualquer alteração do concreto estrutural afetava as máquinas. A solução para recuperá-la foi fazer cortes no concreto, de cerca de 15 centímetros cada, que possibilitaram a expansão do concreto sem afetar a estrutura. Não tive contato com a barragem depois dessa intervenção, mas, acredito, que as suas quatro máquinas estão ainda em pleno funcionamento.

IBRACON – PASSADOS MAIS DE SETENTA ANOS APÓS SUA DESCOBERTA POR STANTON, HOJE A RAA É BEM CONHECIDA EM TERMOS DOS MECANISMOS E FATORES ENVOLVIDOS NA REAÇÃO, DOS TIPOS DE OBRAS MAIS SUSCETÍVEIS A ELA

“

UM DIA RECEBO UM TELEFONEMA DO PRESIDENTE DA CHESF NA ÉPOCA, RESPALDANDO MINHAS OPINIÕES SOBRE O PROBLEMA EM MOXOTÓ, PORQUE A RAA ERA A ÚNICA CAUSA QUE HAVIA SOBADO NOS ESTUDOS

”



Testemunho de concreto onde se observa gel porcelânico esbranquiçado. Microscopia estereoscópica. Aumento 12x

E DA EXTENSÃO DAS CONSEQUÊNCIAS ESTRUTURAIS ADVINDAS DELA?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – A química da reação álcali-agregado não é completamente conhecida. Suas consequências, sim! A grande lacuna no conhecimento é não ser possível determinar o estágio no qual se encontra a expansão e quando ela terminará. Se conhecêssemos a fundo a reação, talvez, conseguiríamos determinar o estágio atual da expansão e quando ela terminaria.

Por outro lado, conhecemos perfeitamente como evitar a RAA e como detectar se um concreto tem ou não RAA. Do ponto de vista da engenharia, o importante é saber como evitar. Basta adicionar uma certa quantidade de escória ou de pozolana, materiais que inibem a reação. Para saber a quantidade necessária para

inibir a expansão é preciso fazer testes! Sabemos também como lidar com uma obra com RAA. Prestei consultoria para um problema no Aeroporto de Palmas. Suas pistas de asfalto foram empurradas pelo concreto usado nos pátios de estacionamento dos aviões, ficando onduladas. Constatei que a reação álcali-agregado, além de fissurar todo o concreto, fez ele se expandir, empurrando as pistas, inviabilizando-as. Não sendo possível parar a reação, a solução prescrita foi deixar o concreto do estacionamento continuar a se expandir livremente. O problema no aeroporto era com a restrição. Sugerir fazer várias juntas no piso de concreto, após consultar o projetista. Com as juntas realizadas, o funcionamento do aeroporto foi retomado. Visitei novamente o aeroporto há um ano e verifiquei que a sujeira bloqueava as juntas realizadas, não deixando o concreto expandir livremente. Sugerir, então, a limpeza das juntas e tudo voltou ao normal, porém a expansão ainda continua.

inibir a expansão é preciso fazer testes!

Sabemos também como lidar com uma obra com RAA. Prestei consultoria para um problema no Aeroporto de Palmas. Suas pistas de asfalto foram empurradas

Em pontes com RAA, a solução adotada tem sido o reforço dos pilares. Em fundações, também! O cuidado a ser tomado nesses casos é que o concreto usado no reforço não seja feito com material reativo ou seja feito com inibidores para evitar a expansão pela reação álcali-agregado. Não conheço casos nos quais havia RAA e ela deixou de existir. Veja o caso da barragem de Peti, construída em 1946. Nela o concreto está sujeito à reação álcali-agregado. Mas, continua funcionando normalmente, por causa das várias medidas corretivas adotadas.

A RAA causa uma pequena perda de resistência, mas uma queda pronunciada no módulo de elasticidade. Isto foi visto no estudo do concreto da barragem de Ilha Solteira, com vários teores de pozolonas. O concreto afetado com RAA teve sua resistência quase não alterada, mas seu módulo de elasticidade caiu drasticamente em relação ao do concreto de referência. Por que a resistência não cai? É um fato ainda não bem explicado. Para mim, a melhor hipótese é a de que os poros e fissuras do concreto vão sendo preenchidos pelo gel da RAA, que se torna vítreo, com resistência maior do que a do ar.

Por que não estou preocupado com o que podemos encontrar em termos de danos causados pela RAA em estruturas? Em primeiro lugar,

“

**A QUÍMICA DA REAÇÃO
ÁLCALI-AGREGADO NÃO É
COMPLETAMENTE CONHECIDA.
SUAS CONSEQUÊNCIAS, SIM!**

”

“

NA PROMON INSTITUI QUE TODAS AS BARRAGENS DE CONCRETO FOSSEM CONSTRUÍDAS COM CONCRETO COM POZOLANAS, EM QUANTIDADE SUFICIENTE PARA ELIMINAR A EXPANSÃO PELA RAA ”

”

porque sabemos perfeitamente como determinar e mitigar a RAA. Em segundo lugar, porque os cimentos hoje são fabricados com adições de pozolanas ou escórias. Com relação à normalização brasileira da RAA, persiste uma dúvida. O resultado do ensaio acelerado de certos basaltos caracteriza-o como agregado reativo. No entanto, não conhecemos nenhuma obra que utilizou o basalto que tenha apresentado reação álcali-agregado. Essa questão precisa ser ainda melhor estudada.

IBRACON – É POSSÍVEL ESTIMAR O GRAU DE INCIDÊNCIA MÉDIO DA RAA EM OBRAS DE CONCRETO, TENDO EM VISTA A PROPORÇÃO DE JAZIDAS DE AGREGADOS REATIVOS, A PROPORÇÃO DOS TIPOS DE CIMENTOS MAIS CONSUMIDOS E A UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR NO MUNDO?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Não. Uma aluna que orientei fez uma pesquisa de mestrado sobre as jazidas em São Paulo e a RAA. Outro pesquisador fez o mesmo no Paraná. Mas essas pesquisas tem sempre escopo regional. Por outro lado, existem vários tipos de granitoides. Para ser reativo, ele tem que ter o quartzo deformado. Na região de São Paulo tem muito granito com quartzo deformado. Em Moxotó foi quartzo deformado. Por sua vez, uma jazida pode ser classificada como livre de quartzo deformado, mas, com a continuidade da escavação, pode aparecer alguma porção com quartzo deformado.

O importante é tomarmos as medidas preventivas. Na Promon institui que todas as barragens de concreto fossem construídas com concreto com pozolanas, em quantidade suficiente para eliminar a expansão pela reação álcali-agregado.

IBRACON – ALÉM DA RAA, QUE OUTRAS LINHAS DE PESQUISA VOCÊ PERSEGUIU NA UNIVERSIDADE DE BERKELEY?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Na minha pesquisa de doutorado, obtida em 1991, estudei a interface entre a pasta de cimento e o agregado no concreto por meio da microscopia eletrônica, orientado pelo Prof. Paulo Monteiro. No pós-doutorado, realizado em 2006 e 2007, voltei à Universidade de Berkeley para estudar a reação álcali-agregado no concreto das fundações dos edifícios da região metropolitana de Recife. Suspeitava que o problema da fissuração, com aberturas

enormes em alguns blocos de fundação, não fosse causado apenas pela RAA. Verificamos, com o Prof. Paulo Monteiro, que, além da RAA, havia a etringita tardia. Verificando a curva adiabática dos

concretos usados nas fundações dos edifícios em Recife, foi possível constatar que, dependendo da temperatura ambiente no momento de lançamento do concreto, este atingia temperaturas de até setenta graus, condição para a formação da etringita tardia. Com isso, a etringita, composto expansivo formado durante a hidratação do cimento, formava-se também num momento posterior ao da hidratação, provocando as fissuras no concreto. A RAA e a etringita tardia, combinadas ou não, explicam a enorme variabilidade na abertura de fissuras nos blocos de fundação das edificações da região metropolitana de Recife. Este trabalho está para ser publicado.

IBRACON – VOCÊ PARTICIPA REGULARMENTE DAS ATIVIDADES DO IBRACON. QUAL É A IMPORTÂNCIA DO INSTITUTO?



Bloco de fundação de edifício em Recife afetado por RAA, onde se observa quadro fissuratório

CRÉDITO: SELMO KUPERMAN



A RAA E A ETRINGITA TARDIA, COMBINADA OU NÃO, EXPLICAM A ENORME VARIABILIDADE NA ABERTURA DE FISSURAS NOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE



VLADIMIR ANTONIO PAULON – Sou sócio-fundador do IBRACON e sempre participei de suas atividades. Foi no IBRACON, em suas reuniões, que os tecnologistas novatos puderam aprender com as lições dos tecnologistas experientes, como o Petrucci, o Basílio e o Falcão Bauer. Para mim, o IBRACON foi o indutor do desenvolvimento da tecnologia do concreto no Brasil. Nos primeiros congressos eram apresentados de quatro a cinco trabalhos. Hoje, são

centenas. Eu mesmo reviso uma grande quantidade de trabalhos.

IBRACON – POR FIM, O QUE VOCÊ FAZ EM SEU TEMPO LIVRE?

VLADIMIR ANTONIO PAULON – Presto consultoria para projetos que me interessam. Estava envolvido, junto com a Falcão Bauer, no projeto brasileiro-ucraniano da plataforma de lançamento de foguetes para a base de Alcântara. O estudo consistia em verificar como o concreto é afetado pela alta temperatura, porque no

momento de lançamento do foguete a temperatura na plataforma atinge dois mil graus, caindo bruscamente após o lançamento. O objetivo era dosar um concreto para suportar 600 graus. Mas, de repente, a Ucrânia se retirou do projeto, que parou completamente. Fora consultoria, estou há quase dois anos no IMED (Complexo de Ensino Superior Meridional), em Passo Fundo, como professor de pós-graduação, aguardando a abertura da primeira turma, que deve sair em março. 🇧🇷

ANAIS DA 15ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (ICAAR 2016)



Editores: Haroldo de Mayo Bernardes & Nicole Pagan Hasparyk

Adquira o pen-drive contendo os mais de **100 trabalhos técnico-científicos** apresentados no evento **ICAAR 2016**.

Textos escritos por especialistas em reação álcali-agregado, de 21 nacionalidades, sobre seus mecanismos e fatores, ensaios para seu diagnóstico e para avaliação das estruturas afetadas, casos de deterioração de estruturas atacadas, modelagem de danos, medidas de recuperação e medidas preventivas.

A **ICAAR** é realizada a cada quatro anos e se consolidou como o mais importante fórum de debates sobre a reação álcali-agregado em todo mundo.

Visite: www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)



Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?

SÉRGIO OTOCH - ENGENHEIRO CIVIL

SERGIO OTOCH PROJETOS ESTRUTURAIS

I. BREVE HISTÓRICO DO FENÔMENO

Desde 1940 a primeira publicação tratando da relação da expansão no concreto com a reação álcali-agregado. Antes, por volta de 1916, já haviam estudos isolados. Desde então, o tema tem sido estudado, pesquisado e apresentado em vários simpósios e congressos em todo o mundo. No Brasil, os primeiros registros ocorreram em 1963. Renomados professores, pesquisadores e engenheiros dedicaram-se ao estudo da RAA, tendo sido produzida grande quantidade de trabalhos que foram publicados e apresentados em congressos, simpósios e reuniões anuais, muitos deles específicos para tratar do tema.

O fenômeno da expansão do concreto devido à RAA, até poucos anos, era de ocorrência predominante em estruturas de grande porte: barragens e partes de usinas hidrelétricas. Mais recentemente, a partir do final de 2004 e por todo o ano de 2005, na região metropolitana de Recife, foram identificados vários casos de RAA acometendo blocos e sapatas de fundações de edifícios, com idades variando de



Topo de bloco de fundação com fissuras devidas à RAA

3 a 20 anos. Logo, em Fortaleza, surgiram os primeiros casos, também em blocos de fundações de alguns edifícios. Praticamente, todos os anos, têm ocorrido casos de RAA.

Como profissional projetista de estruturas, preocupa-me a inércia, por parte de alguns setores envolvidos na produção dos nossos edifícios, na adoção de medidas que visem prevenir a ocorrência da RAA. Com essa motivação e com base na experiência pessoal, a seguir apresento o fenômeno, as condições propícias ao desenvolvimento da reação e as ações sugeridas para prevenção e inibição

da RAA, tudo de modo bastante simples, sem aprofundar-se na complexidade do fenômeno, já brilhantemente descrito por outros autores.

2. O QUE É A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

A RAA é um processo químico que ocorre no concreto endurecido, onde minerais reativos dos agregados (brita e/ou areia) reagem com hidróxilos alcalinos presentes nas soluções dos poros da pasta do concreto, formando um gel higroscópico expansivo (às vezes, não há formação de gel). Quando a RAA ocorre de forma



Detalhe do testemunho extraído

deletéria (expansão do concreto) podem ocorrer fissuras, deslocamentos diferenciais, lascamentos, aumento da permeabilidade e diminuição da resistência química e mecânica do concreto. Atualmente, sabe-se que há três variedades da RAA:

1. Reação álcali-silica: quando a sílica reativa (do agregado) reage com os álcalis provenientes, principalmente, da pasta de cimento, com formação de gel higroscópico expansivo – essa é a reação mais comum e a que mais rápido se desenvolve;
2. Reação álcali-silicato: muito similar à anterior, exceto que a reação agora é pela ação dos silicatos dos agregados – uma reação mais lenta que a anterior e, também, há formação de gel;
3. Reação álcali-carbonato: não forma gel, ocorrendo pela expansão das rochas carbonáticas a partir



Identificação da “borda de reação” e gel de RAA por meio de ensaio laboratorial

do ataque dos álcalis – dos três tipos é o mais raro de ocorrer.

Em situações extremas da RAA, é possível ocorrer pressões devido à expansão do concreto, da ordem de 13 MPa (1300 tf/m²) que, em muitos casos, é superior à resistência à tração do concreto!

3. CONDIÇÕES PROPÍCIAS AO DESENCADEAMENTO DA REAÇÃO

Para que ocorra a reação é necessária a presença, simultânea, de:

- a) Agregado reativo ou potencialmente reativo (sílica, silicato ou carbonato);
- b) Álcalis, principalmente da pasta de cimento, em teor suficiente; pode vir de outras fontes: água de amassamento, aditivos, adições minerais, agregados;
- c) Umidade suficiente, proveniente do contato direto com a água ou em ambientes com umidade relativa do ar acima de 80%.

Além dos elementos acima, outros fatores contribuem para a variação da velocidade e magnitude da RAA:

- a) Temperatura: quanto mais elevada, mas intensa é a reação;
- b) Consumo de cimento: quanto maior o consumo de cimento, mais intensa é a reação, mesmo em presença de baixo teor de álcali (< 0,6%).

4. AÇÕES PREVENTIVAS E INIBIDORAS DA REAÇÃO

Como ações para prevenir ou inibir a RAA, recomenda-se:

- a) Se possível, não utilizar agregados potencialmente reativos ou



Colação dos perfis metálicos e das barras Dywidag, apicoamento das faces e colocação das armaduras, para recuperação dos blocos afetados

reativos; neste sentido, é imprescindível realizar ensaios dos agregados para identificar o potencial reativo; baixos teores de agregados reativos são permitidos se forem empregados neutralizadores da RAA no concreto;

- b) Limitar o teor de álcalis solúveis no concreto: a principal fonte de álcalis é o cimento, que deve possuir teores abaixo de 0,4%; entretanto, é preciso examinar a água de amassamento, os aditivos, as adições minerais e até mesmo os agregados, pois todos são fontes fornecedoras de álcalis;
- c) Proteger o elemento estrutural contra o contato com o lençol freático: uso de métodos impermeabilizantes;



Bloco concluído, depois de seu envelopamento com concreto com microsilica e pintura impermeabilizante



- d) Reduzir a relação a/c: o excesso de água, além do necessário para a hidratação do cimento, é fonte de umidade e aumenta a porosidade do concreto;
- e) Reduzir o consumo de cimento: podem-se usar adições minerais com critério;
- f) Aditivos (superplastificantes e redutores de água): esses compostos contêm álcalis que se somarão aos outros; portanto, o uso de aditivos deve ser feito com critério;
- g) Usar cimento com baixo calor de

hidratação: é uma tentativa de evitar a elevação da temperatura;

- h) Forma: evitar usar forma lateral com alvenaria, pois dificultam a dissipação do calor e alteram a relação a/c nas faces dos blocos, podendo ocorrer fissuras por ausência de cura;
- i) Armaduras: adotar detalhe de armação na forma de gaiola.

5. E SE O PROBLEMA ESTIVER OCORRENDO EM MINHA OBRA?

O estado do conhecimento atual

ainda não é conclusivo sobre quais medidas adotar para estancar a reação. Para a recuperação do elemento (BLOCO) afetado é necessário um estudo específico do caso, após a realização dos ensaios em testemunhos extraídos do concreto. Envolvimento com concreto, aplicação de protensão e impermeabilização são procedimentos frequentemente adotados como forma de reduzir o processo reativo. É necessário monitorar o elemento recuperado para acompanhar a eficiência da solução, isto é, aferir se a reação foi extinta, reduzida ou aumentada. ↩

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realização. Instituto Brasileiro do Concreto: São Paulo, Vol. 2, 2005.
- [02] REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO. Sindicato da Indústria da Construção de Pernambuco (SINDUSCON/PE), Recife, 2006.



Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian
SECRETÁRIO Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1
Edição: 1ª edição
Formato: Eletrônico
Páginas: 78
Acabamento: Digital
Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Contribuição à previsão de danos para estruturas de concreto atacadas pela reação álcali-sílica

HELENA CARASEK – PROFESSORA DOUTORA • OSWALDO CASCUO – PROFESSOR DOUTOR • GEOVANNE CAETANO – MESTRANDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA, ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL – PPG-GECON / EECA – UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

I. INTRODUÇÃO

A reação álcali-agregado (RAA) é uma manifestação patológica que pode representar um alto grau de deterioração do concreto, principalmente em obras de infraestrutura, como barragens, pavimentos e pontes, além das fundações em geral. Trata-se de um processo de deterioração de natureza química endógena, ou seja, ocorrem reações químicas internas ao concreto sem o aporte de agentes agressivos externos.

A ABNT NBR 15577-1: 2008 – Agregados: Reatividade Álcali-Agregado define três tipos de reação álcali-agregado, a saber: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

A reação álcali-sílica (RAS) envolve a sílica reativa dos agregados e os álcalis – Na^+ e K^+ , que na presença de hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, formando um gel expansivo (Figura 1). Esse é o tipo de reação que mais rapidamente se desenvolve.

Considerada um tipo específico de reação álcali-sílica, a reação álcali-silicato ocorre entre os álcalis e alguns tipos de silicato, como, por exemplo,

o quartzo tensionado por processos tectônicos. Essa reação também forma um gel expansivo e, geralmente, é mais lenta do que a que ocorre com a sílica reativa.

A reação álcali-carbonato (RAC), fenômeno bem mais raro de ser observado, manifesta-se em alguns agregados rochosos carbonáticos, sendo que a forma mais conhecida de deterioração do concreto por essa reação é a desdolomitização da rocha e, consequentemente, enfraquecimento da ligação pasta/agregado. Dada a especificidade da RAC, além de sua baixa ocorrência, essa reação não é tratada pela ABNT NBR 15577: 2008.

Dentre esses três tipos, a RAS é a reação mais comumente relatada como responsável pela deterioração de obras, de modo que a maioria dos estudos sobre RAA enfoca essa forma de ocorrência do problema, como é o caso no presente trabalho.

Apesar dessa reação ser conhecida há cerca de 80 anos pelo meio técnico e de suas formas de prevenção serem também bem difundidas, a deterioração do concreto resultante da RAS ainda é

considerada relevante, notadamente pela sua grave repercussão na estrutura e pelos grandes transtornos trazidos às obras de infraestrutura e de edificação. No que tange à sua ocorrência, tem-se o registro desse fenômeno em pelo menos 50 países, incluindo-se o Brasil, o que torna a RAA um tema de estudo de amplo espectro em nível mundial.

No campo do estudo e investigação da reação álcali-agregado, além das pesquisas experimentais de laboratório e dos estudos de campo em obras atacadas por ela, uma importante ferramenta de análise que surgiu a partir dos anos 80 foi a simulação numérica. Esta linha de estudo tem propiciado tanto a modelagem do fenômeno quanto a predição de danos ou de vida útil das estruturas afetadas por esta reação.

Devido à importância do tema, o presente artigo tem como objetivo promover uma discussão sobre os modelos numéricos que vêm sendo desenvolvidos para previsão de dano de estruturas afetadas pela reação álcali-sílica, bem como apresentar as principais classificações e estabelecer os níveis que diferenciam esses modelos.

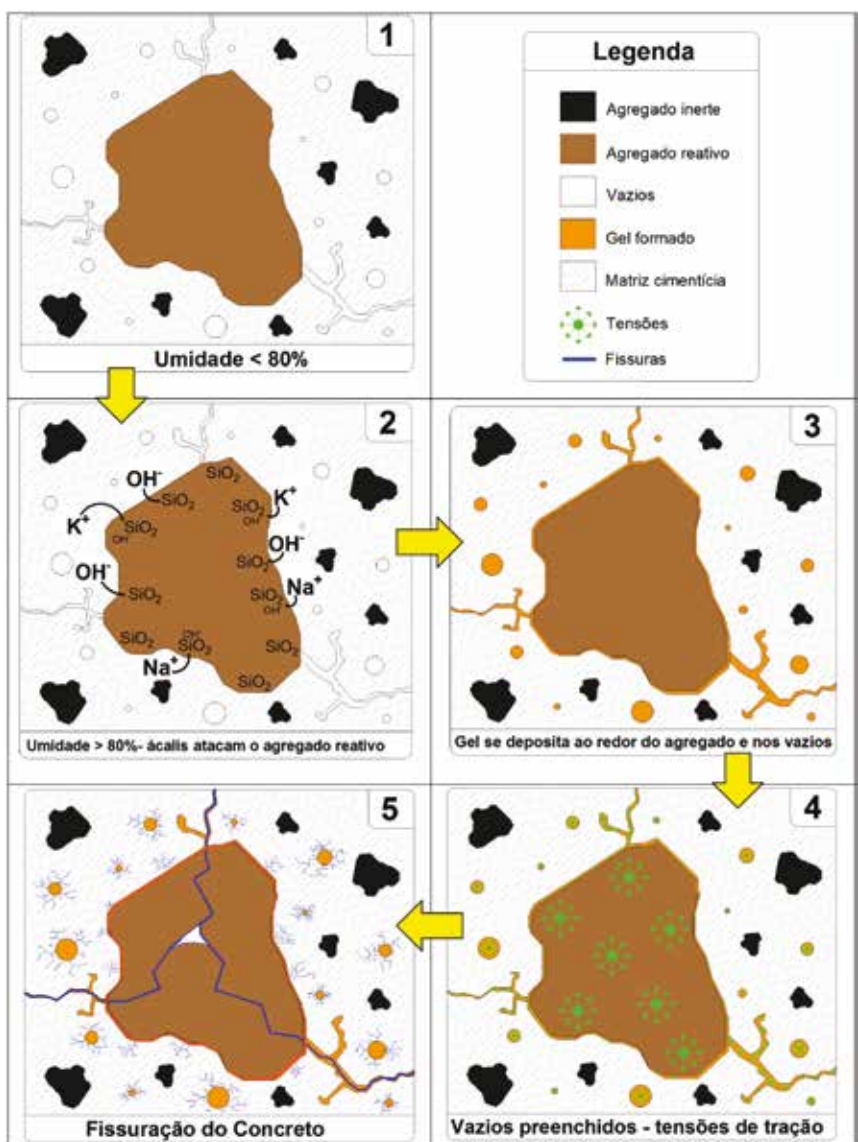
2. PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM A REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA

O entendimento dos fatores que propiciam e influenciam a reação álcali-agregado é de essencial importância quando se pretende trabalhar com as simulações numéricas, uma vez que esses fatores se constituirão em dados de entrada dos modelos.

É consenso no meio científico que a reação álcali-agregado ocorre se, e somente se, houver a ocorrência concomitante de três fatores: presença de minerais reativos no agregado, presença de álcalis na pasta de cimento e umidade suficientemente alta para propiciar a reação. Salienta-se, contudo, que outros fatores também podem afetar a reação, como a temperatura do ambiente, a porosidade do concreto e as condições da estrutura (tensões confinantes e presença de armaduras), resumidos na Figura 2.

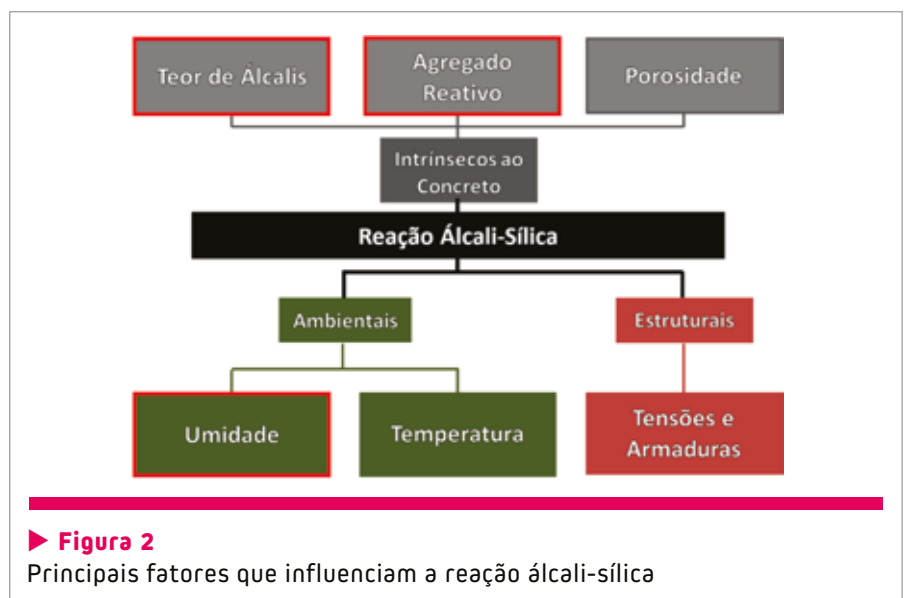
Quanto à reatividade dos agregados, ela é devida, principalmente, aos tipos de minerais presentes em sua estrutura. Alguns agregados silicosos, quando constituídos de sílica amorfa mal cristalizada ou microcristalina, são atacados pela solução intersticial dos poros do concreto. Constituem-se exemplos de sílica reativa: opala, calcedônia, tridimita, cristobalita e vidro vulcânico. A severidade das reações depende, além da reatividade dos agregados, também de seu proporcionalmente na mistura de concreto e de sua granulometria.

A principal fonte de álcalis no concreto é o cimento utilizado no seu preparo. Para se evitar a reação, as prescrições mais antigas instituíam teores limites máximos iguais a 0,6% de equivalente alcalino ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$). No entanto, os álcalis podem ser provenientes



► **Figura 1**

Representação da ocorrência da reação álcali-sílica, com formação do gel e fissuração do concreto



► **Figura 2**

Principais fatores que influenciam a reação álcali-sílica

de outras fontes intrínsecas ao concreto, como os aditivos e as adições, ou mesmo os próprios agregados que contenham um alto teor desses íons; além dessas fontes, os álcalis também podem ser oriundos do ambiente no qual a estrutura está inserida. Por essa razão, atualmente um parâmetro mais aceito é o teor total de álcalis ativos do concreto, fornecidos por todos os seus materiais constituintes. Assim, a ABNT NBR 15577-1: 2008 limita o teor de álcalis do concreto a valores menores do que $3,0 \text{ kg/m}^3$ e $2,4 \text{ kg/m}^3$, respectivamente para as intensidades de ação preventiva mínima e moderada.

A umidade tem uma ação fundamental no desenvolvimento da RAS. O primeiro papel da água é ionizar e transportar íons alcalinos e hidroxila ao longo da porosidade da matriz para reagirem com o agregado, produzindo um gel sílico-alcalino ou cálcio-sílico-alcalino. O segundo papel é propiciar a expansão do concreto devida à adsorção de água pelo gel. Por esta razão, de forma geral, considera-se que a reação não pode danificar o concreto se a umidade relativa média do ambiente não for superior a 80%-85%.

A temperatura é um fator importante de ser considerado na RAS por possuir um efeito cinético no fenômeno. A elevação da temperatura acelera o início e também a velocidade inicial da expansão e, conseqüentemente, as expansões e a deterioração da estrutura.

As tensões confinantes, bem como a presença de armaduras passivas ou ativas no concreto, tendem a limitar o fenômeno ou até mesmo suprimir a livre expansão do concreto, tendo uma influência benéfica sobre a reação. Por esta razão, os danos nas estruturas reais tendem a ser menos pronunciados do que os danos no concreto de corpos de

prova de laboratório atacados pela RAS.

A porosidade do concreto, função da relação água/ligante e dos seus materiais constituintes, também influencia a RAS. No entanto, não existe um consenso de como é esta influência. Se houver uma baixa porosidade, esta tende a dificultar o transporte dos reagentes até os agregados, mas, uma vez iniciada a reação, mais rápidas e mais acentuadas serão as expansões devidas à limitação de espaço para acomodação do gel formado. Por outro lado, um concreto com alta porosidade dispõe de maior espaço físico para armazenamento de água intersticial, tendo assim maior quantidade de reagentes para propiciar o fenômeno, porém, em função desse maior espaço, há melhores condições para o armazenamento do gel formado antes que se atinja um estágio crítico de tensões que leve o concreto a iniciar um processo de expansão (evoluindo para a fissuração).

3. MODELOS PREDITIVOS DE DANO GERADO PELA RAA

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem se dedicado ao desenvolvimento de modelos de previsão de vida útil e de previsão de danos de estruturas de concreto, dentre eles os relacionados à RAS. Atualmente, na literatura, já existem disponíveis vários modelos, que se diferenciam quanto à sua concepção, dados de entrada, escala de abordagem, natureza, etc. A seguir, são tecidas considerações que visam esclarecer alguns aspectos conceituais importantes e de aplicação dos modelos.

3.1 Considerações gerais sobre os modelos

Um modelo pode ser definido, de forma geral, como a representação de

um sistema real em determinada forma de linguagem, geralmente a linguagem matemática. Modelos matemáticos são descrições construídas em linguagem matemática, mediante simplificações do sistema, sendo representados por componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais.

Os modelos para previsão de vida útil e de danos podem ser desde os mais simples, chamados de modelos empíricos, passando pelos modelos analíticos (ou semianalíticos), chegando nos mais complexos, os modelos numéricos.

Os modelos empíricos não se baseiam em dados físicos e, portanto, existe a necessidade de que sejam calibrados para os fins de predição do comportamento futuro da estrutura, tendo, em geral, um interesse limitado no campo preditivo. Os modelos analíticos consideram como dados de entrada, de maneira direta ou indireta, indicadores de desempenho quanto à durabilidade físico-química, como a porosidade, a permeabilidade, o estado hídrico, etc. Eles apresentam a vantagem da simplicidade e da boa representatividade global dos fenômenos, porém, não são capazes de representar de modo detalhado as reações.

Os modelos numéricos propõem-se a descrever detalhadamente a física dos fenômenos, levando em conta, principalmente, os mecanismos de transporte em meio poroso não saturado, os equilíbrios químicos, as cinéticas das reações e as modificações de porosidade do material. Conseqüentemente, o grau de complexidade envolvido requer a implantação de métodos numéricos, devido ao grande esforço de cálculo. Na seqüência deste item, será dada ênfase aos modelos numéricos aplicáveis à RAS.



► **Tabela 1 – Pesquisas acadêmicas brasileiras sobre modelos preditivos de danos para estruturas de concreto afetadas pela RAS**

Autor	Ano	Tipo	Universidade
Pappalardo	1998	Tese	Universidade de São Paulo
Farage	2000	Tese	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Carrazedo	2004	Dissertação	Universidade Federal do Paraná
Lopes	2004	Tese	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Madureira	2007	Tese	Universidade Federal de Pernambuco
Nóbrega	2008	Tese	Universidade Federal de Pernambuco
Oliveira	2013	Dissertação	Universidade Federal do Paraná
Rodrigues	2014	Dissertação	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Balbo	2015	Tese	Universidade Federal do Paraná

3.2 Modelos numéricos aplicáveis à reação álcali-silica

No contexto internacional, desde o início dos anos 80 têm sido desenvolvidos modelos voltados a descrever a reação álcali-agregado. No Brasil, no entanto, o estágio no qual se encontra a produção de modelos de RAA ainda é incipiente. É importante frisar que um modelo que se propõe ser universal no âmbito da RAA ou RAS deve, a cada momento, descrever a cinética de formação e expansão do gel e, em seguida, determinar a resposta do concreto a essa expansão. A Tabela 1 apresenta um resumo dos trabalhos acadêmicos brasileiros (dissertações e teses) levantados sobre o tema.

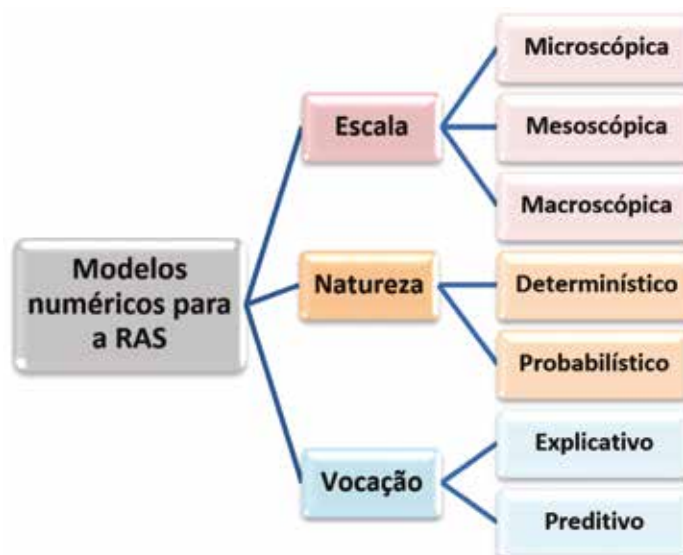
Segundo Carles-Gibergues e Hornain (2014), os modelos para previsão de danos causados pelo fenômeno da RAS podem ser classificados, entre outros, conforme a sua natureza determinística ou probabilística; conforme a sua escala de análise (micro, meso ou macroscópica) e de acordo com a sua vocação exclusivamente explicativa do fenômeno ou explicativa e preditiva. A Figura 3 ressalta essa classificação e o seu conteúdo respectivo.

3.2.1 MODELOS PREDITIVOS QUANTO À NATUREZA: DETERMINÍSTICA OU PROBABILÍSTICA

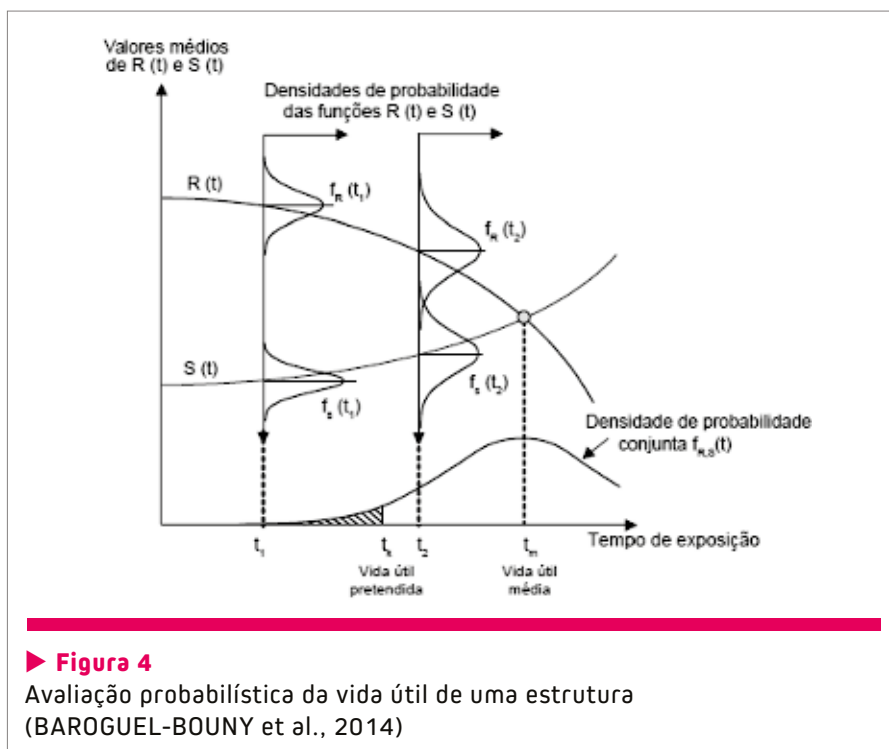
Nos modelos determinísticos, em geral, valores médios são atribuídos aos parâmetros de entrada, havendo, portanto, necessidade de parâmetros de calibração. Os modelos de natureza determinística usam diversos tipos de leis em seu desenvolvimento, como as *Leis de Darcy* e de *Laplace*, por exem-

plo. Eles fazem a simplificação de algumas variáveis, considerando-as constantes no tempo e, geralmente, são modelos analíticos, sendo os dados de saída estritamente resultantes dos dados de entrada inseridos.

Contrariamente à abordagem determinista, em que os valores representativos das variáveis são modelados por valores únicos (as médias), a abordagem probabilista ou estocástica considera a variabilidade dos fenômenos, re-



► **Figura 3**
Classificação dos modelos numéricos existentes para RAS



presentando uma variável pela lei de distribuição de seus valores possíveis (densidade de probabilidade das variáveis aleatórias). Assim, na visão probabilística, as variáveis não são constantes no tempo, já que as aleatoriedades são consideradas (quantificadas), bem como verificados seus efeitos dentro do processo como um todo. Para tanto, faz-se uso de métodos de probabilidade e, em alguns

casos, de teorias de confiabilidade para prever o dano.

No contexto probabilístico, então, um dimensionamento é aceitável caso a probabilidade de ruína ou de falha (P_f), em relação a um critério de estado limite, seja inferior a um valor alvo que define o risco admissível (P_{f-alvo}). Se R e S representam, respectivamente, a resistência e a solicitação de um elemento da estrutura, a falha do

elemento está ligada ao momento em que a solicitação ultrapassa a resistência, como se pode ver na Figura 4. A probabilidade P_f do evento ($R \leq S$) e a quantificação da segurança podem, então, ser descritas como segue:

$$P_f = \text{Prob}(R \leq S) \leq P_{f-alvo} \quad [1]$$

As abordagens probabilistas são ferramentas poderosas que possibilitam uma melhor compreensão do comportamento de uma estrutura, levando em conta as incertezas inerentes aos materiais de construção e ao ambiente. Essas abordagens devem ser respaldadas em dados confiáveis, de modo que possam alimentar os modelos de maneira consistente.

Apesar de sua complexidade, a abordagem probabilística vem sendo usada como parte da normalização europeia para a compreensão da durabilidade de estruturas de concreto, como, por exemplo, no *Eurocode 2 – Design of concrete structures (EN 1992-1)*.

Alguns exemplos de modelos determinísticos e probabilísticos para a RAS podem ser vistos na Tabela 2.

► Tabela 2 – Exemplos de modelos preditivos de dano referente à RAS, de natureza determinística e probabilística

Natureza	Autores	Ano	Periódico
Determinística	Groves e Zhang	1990	Cement and Concret Research
	Furusawa et al.	1994	3rd Intern. Conference on Durability of Concrete
	Bazant et al.	2000	Journal of Civil Mechanics
	Suwito et al.	2002	Concrete Science and Engineering
	Pan et al.	2013	Science China Technological Sciences
Probabilística	Swenson e Gillolt	1964	Highway Research Board
	Pappalardo	1999	Revista Mackenzie de Engenharia da Computação
	Huang e Pietruszczak	1999	Journal of Engineering Mechanics
	Capra e Sellier	2003	Mechanics of Materials



3.2.2 MODELOS PREDITIVOS QUANTO À ESCALA

No que se refere à escala, esta poder ser dividida em microscópica, mesoscópica e macroscópica. Na escala microscópica, o material concreto é caracterizado como uma matriz sólida com porosidade e solução intersticial, a qual responde à ação de um gel expansivo. Na escala mesoscópica, por meio de resultados obtidos com corpos de prova em laboratório, em uma ordem de dimensão decimétrica, explica-se a relação da formação do gel e a expansão das amostras. Na modelização macroscópica, realiza-se o cálculo dos efeitos da expansão na estrutura, a partir de experimentos laboratoriais com corpos de prova. Na Tabela 3 estão ilustrados alguns dos principais modelos desenvolvidos para cada escala, juntamente

com seus autores e anos de publicação.

3.3 Exemplos de modelos numéricos para RAS

A seguir, a título de exemplificação, são apresentados resumos de três diferentes modelos numéricos existentes para a RAS, referentes às escalas micro, meso e macroscópica.

3.3.1 MODELO PREDITIVO NA ESCALA MICROSCÓPICA – BAZANT E STEFFENS (2000)

Bazant e Steffens (2000) desenvolveram um modelo em nível microscópico que se embasou, dentre outros aspectos, no efeito da concentração, em massa, de sílica reativa no concreto e da permeabilidade do gel formado, como também da dependência da reação com a evolução da umidade nos poros, con-

siderando o papel da água como transportador de íons hidroxilas e alcalinos. A reação química é, então, controlada por esse processo difusivo, sendo seu produto acomodado na região porosa em torno da partícula de agregado.

Para representação dessa consideração, foi criada uma célula cúbica de lado S , com uma partícula de diâmetro D , onde z representa o raio da superfície da partícula que ainda não reagiu e δ_c refere-se à espessura da região onde o gel formado é acomodado (Figura 5).

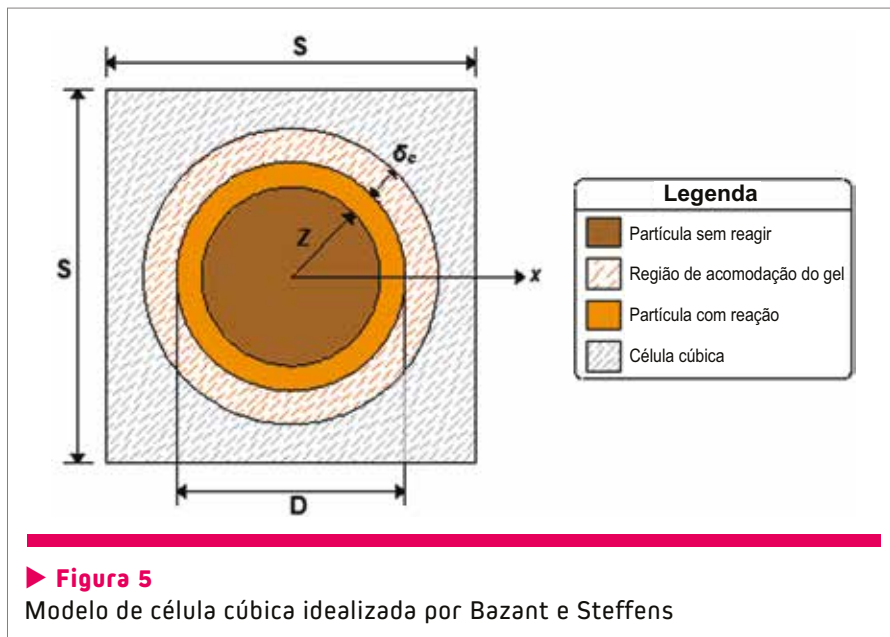
A partir disso, foi proposto pelos autores que a equação de difusão em regime estacionário (Equação 2) resulte na concentração de sílica, considerando as condições de contorno, conforme Equação 3.

$$x^{-2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^{-2} \frac{\xi_w}{\partial_c} \right) = 0$$

[2]

► Tabela 3 – Principais modelos de predição de danos referentes à RAS, separados em função da escala

Nível	Autores	Ano	Periódico
Microscópico	Hobbs	1981	Magazine of Concrete Research
	Groves e Zhang	1990	Cement and Concret Research
	Furusawa et al.	1994	3rd International Conference on Durability of Concrete
	Bazant e Steffens	2000	Cement and Concret Research
	Bazant et al.	2000	Journal of Civil Mechanics
	Suwito et al.	2002	Concrete Science and Engineering
	Xi et al.	2002	Mechanis of Quasi-brittle Materials and Structure
Mesoscópico	Comby-Peyrot et al.	2009	Computational Materials Science
	Dunant e Scrivener	2010	Cement and Concret Research
	Pan et al.	2013	Science China Technological Sciences
Macroscópico	Swenson e Gillolt	1964	Highway Research Board
	Larive e Coussy	1994	Jounées des Science pour l'ingénieur
	Léger et al.	1995	Canadian Journal of Civil Engineering
	Pappalardo	1999	Revista Mackenzie de Engenharia da Computação
	Huang e Pietruszczak	1999	Journal of Engineering Mechanics
	Capra e Sellier	2003	Mechanics of Materials



► **Figura 5**
Modelo de célula cúbica idealizada por Bazant e Steffens

$$\xi_w = w_s F(\bar{x}), F(\bar{x}) = \frac{1 - (2z/D\bar{x})}{(2z/D)}, \bar{x} = \frac{2x}{D} \quad [3]$$

em que: ξ_w corresponde à concentração de sílica, w_s , à concentração de água nos poros da partícula, $F(\bar{x})$, ao perfil dimensional e (\bar{x}) , à coordenada radial adimensional.

Esse estudo resultou, então, em relações entre o parâmetro diâmetro da partícula e a concentração de gel, a pressão e a umidade. Na relação diâmetro da partícula/gel observou-se que, quanto menor a partícula, maior a quantidade de gel formado. Na relação diâmetro/pressão, verificou-se que a pressão aumenta conforme se aumenta o diâmetro da partícula até se atingir um tamanho crítico, a partir do qual esse comportamento se inverte, ou seja, a pressão diminui com o aumento do diâmetro. No que se refere à relação diâmetro/umidade, devido ao fato da formação do gel consumir água, quanto menor o diâmetro, menor a umidade relativa dos poros, pois ocorre a diminuição da absorção de água.

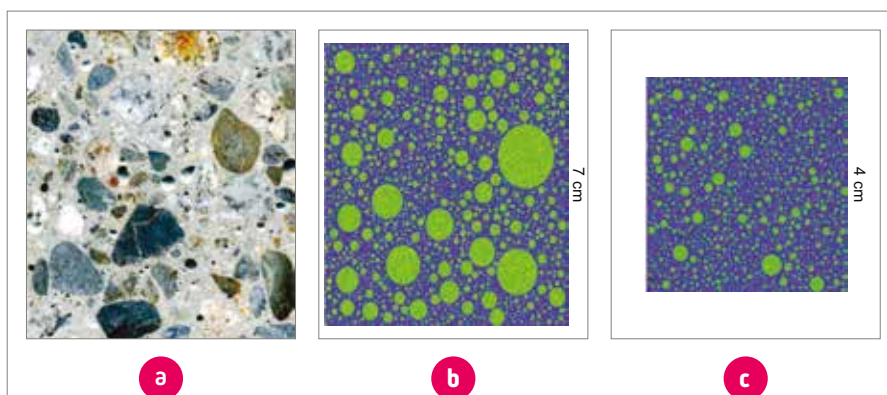
3.3.2 MODELO PREDITIVO NA ESCALA MESOSCÓPICA – DUNANT E SCRIVENER (2010)

O modelo desenvolvido por Dunant e Scrivener (2010) demonstra a possibilidade de simular os mecanismos da reação álcali-silica baseando-se em uma estrutura de elementos finitos (AMIE) a qual integra uma série de ferramentas necessárias para a simulação do concreto. Nesse modelo, a previsão do dano é

abordada na mesoescala, enquanto que a formação do gel na escala microscópica.

Para a simulação da RAS, os agregados inseridos em uma matriz cimentícia são gerados em uma malha de elementos finitos, considerando uma distribuição granulométrica real. No modelo, ao redor desses agregados são introduzidas zonas reativas. A AMIE, então, gera a representação discreta do arranjo, como ilustrado pela Figura 6; em cada passo, condições de contorno são aplicadas e as zonas reativas são expandidas; os danos causados por essa expansão são computados e as propriedades macroscópicas são extraídas. O processo, então, repete esses passos por diversas vezes.

Com a média das tensões e das deformações em cada ponto da amostra, pode-se calcular a sua rigidez aparente, e, então, relacionar o avanço da reação ao nível de dano na amostra. Esses resultados, então, são comparados com valores experimentais. A perda de rigidez é dada principalmente devido às fissuras no agregado e à densidade



► **Figura 6**
Representação do modelo - (a) concreto real utilizado na simulação; (b) simulação em tamanho real; (c) simulação da microestrutura da argamassa (DUNANT; SCRIVENER, 2010)



de seu acondicionamento, uma vez que a argamassa está sob compressão com o nível de tensões próximas ao seu estado limite. Pode-se observar na Figura 7 a malha com a distribuição das tensões sobre os agregados, a qual gera compressão na argamassa.

A expansão do gel é dada conforme a Equação 4, em que Ω_{gel} corresponde à superfície do gel, e , ao elemento de superfície, h_i , à função de forma associada ao grau de liberdade considerado, f_i , à força associada e E , ao tensor de tensão do gel.

$$\mathbf{f}_i = \int_{\Omega_{gel} \cap e} \nabla h_i \mathbf{E} \mathbf{e}_{imp} d(\Omega_{gel} \cap e) \quad [4]$$

3.3.3 MODELO PREDITIVO NA ESCALA MACROSCÓPICA – CAPRA E SELLIER (2003)

Segundo Capra e Sellier (2003), a dificuldade para modelação da reação álcali-agregado se dá devido à distribuição aleatória dos locais com reatividade e ao escasso conhecimento da química e dos mecanismos que envolvem as reações. Todavia, baseando-se em uma descrição probabilística dos principais parâmetros físicos do concreto e da RAA, é possível simular a expansão a que o material está sujeito. Para tanto, modela-se o concreto como um material sujeito à fissuração com tensões elásticas e inelásticas. A RAA é modelada levando em consideração a temperatura, a umidade, o estado de tensões e a cinética da reação. Os autores propõem, ainda, a verificação da probabilidade de abertura de fissuras.

Antes de desenvolverem a modelagem para a RAA, os autores

descrevem o comportamento do concreto baseando-se na descrição da sua deterioração por meio da criação de uma superfície de descontinuidade.

A parte elástica do comportamento do concreto baseia-se na teoria ortotrópica de danos, proposta por Lemaitre e Chaboche (1988 *apud* CAPRA; SELLIER, 2003). O estado do material, em termos de rigidez, é dependente de uma variável fenomenológica “d”, a qual é definida como a razão entre a superfície de descontinuidade (fissuras, vazios, etc) e a superfície total da amostra, sendo que seu valor varia entre 0 e 1.

De posse do valor do coeficiente “d” é possível calcular a tensão efetiva através da Equação 5, sendo esta dada pela relação entre a tensão aparente σ_{app} e o coeficiente de dano “d”.

$$\sigma_{eff} = \frac{\sigma_{app}}{1-d} \quad [5]$$

As deformações e as tensões aparentes são calculadas conforme as tensões efetivas, baseando-se no trabalho de Sellier *et al.* (2001 *apud* CAPRA; SELLIER, 2003).

Partindo-se para a modelação da reação, verificam-se as tensões de equilíbrio geradas pela RAS, isto é,



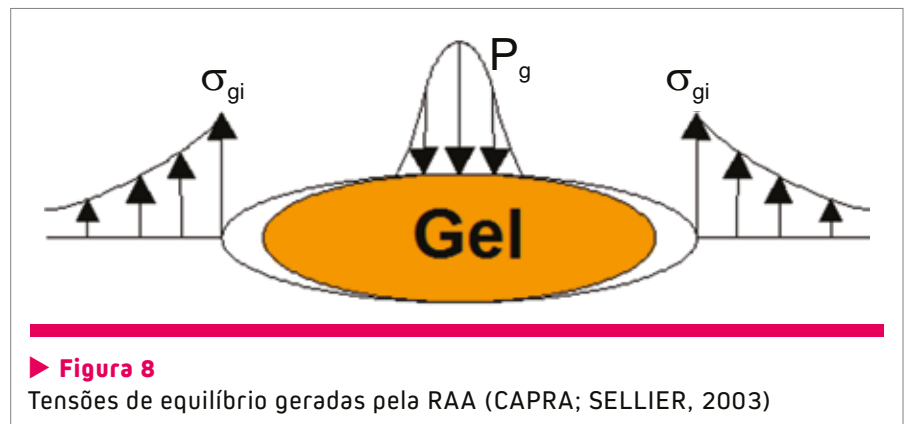
► **Figura 7**
Mapeamento das zonas da amostra que estão sob tensão (DUNANT; SCRIVENER, 2010)

sem uma carga externa, a amostra de concreto sujeita à reação, que expande, surgindo uma tensão de autoequilíbrio dentro do material (Figura 8).

Sendo P_g a pressão média exercida pelos produtos da matriz cimentícia e σ_{gi} a tensão induzida pelo material sem dano. A equação de equilíbrio leva à relação expressa pela Equação 6, válida para as três direções principais “i”.

$$\sigma_{gi} = \frac{P_g}{1 - Pf_{aari}} \quad [6]$$

em que: Pf_{aari} representa a probabilidade de fissuração na direção “i” e $(1 - Pf_{aari})$ é a fração de material não



► **Figura 8**
Tensões de equilíbrio geradas pela RAA (CAPRA; SELLIER, 2003)

fissurado na direção “i” na qual a tensão σ_{gi} é exercida.

Para a determinação da pressão gerada pelo gel, considera-se essa (P_g) sendo proporcional ao volume de gel e sua taxa de confinamento. Onde V_g é o volume de gel criado durante as reações, V_{aar} o volume de fissuras ocupadas pelo gel e V_{po} o volume de poros conectados com os locais reativos e com potencial de serem usados para alojar o gel formado. A pressão exercida pelas reações é representada pela Equação 7.

$$P_g = K V_g - V_{\text{po}} - V_{\text{aar}} \quad [7]$$

Outra consideração feita pelo modelo é em relação à cinética global da reação, a qual é caracterizada pela concentração total de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$) na solução do poro.

Assumindo $A(t)$ como sendo a porcentagem de álcalis reativos durante um tempo t , chega-se à Equação 8.

$$A(t) = \frac{[Na_2O_{\text{eq}}](0) - [Na_2O_{\text{eq}}](t)}{[Na_2O_{\text{eq}}](0)} \quad [8]$$

Então, considera-se que o volume de gel criado durante um tempo t é proporcional à porcentagem de álcalis reativos, sendo desenvolvidas outras correlações a partir disso.

Posteriormente, os autores fazem uma série de verificações, como a probabilidade de fissuração devido à RAS e às tensões de compressão geradas. Ademais foram realizadas simulações numéricas em uma viga, cujos resultados se mostraram em concordância com os resultados de experimentos realizados.

Segundo os autores, constatou-se que a modelagem apresenta uma formulação completa e detalhada, que inclui a descrição global da cinética química das reações e a descrição física dos mecanismos de expansão, com um critério de danos pautado nos postulados da análise de probabilidade.


4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modelos numéricos auxiliam no prognóstico dos problemas relacionados à RAS, uma vez que se propõem a descrever a evolução da manifestação patológica no concreto, levando em conta os mecanismos de transporte em meio poroso não saturado, os equilíbrios químicos, as cinéticas das reações e as modificações de porosidade do material. Dessa forma, eles podem ser considerados importantes ferramentas preditivas de danos estruturais, em especial voltadas à previsão de vida

útil das estruturas atacadas pela RAS.

Em se tratando da natureza da análise, a modelagem determinística é mais simplificada, sendo pautada por diferentes leis físicas e considerações em seu desenvolvimento, cuja realização, geralmente, dá-se de forma analítica. A abordagem probabilística, por sua vez, é mais complexa e elaborada, fazendo a aplicação de teorias e métodos de probabilidade na sua concepção, resultando em dados mais próximos da realidade. Muito embora uma abordagem probabilista acarrete muitas dificuldades, pois é necessário analisar todas as fontes possíveis de incertezas, que podem ser diversas (implicando um grande volume de dados de entrada), sem dúvida ela significa uma avaliação mais rica e sofisticada. A despeito dessas dificuldades, a abordagem probabilística é factível e já vem sendo empregada na normatização europeia, como, por exemplo, no Eurocode 2.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão das bolsas PQ e de mestrado, respectivamente. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BAROQUEL-BOUNY, V. CAPRA, B.; LAURENS, S. A durabilidade das armaduras e do concreto de cobertura. In: OLLIVIER, J.-P.; VICHOT, A. Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Ed. Tradução: Cascudo, O.; Carasek, H. 1. ed., São Paulo: IBRACON, 2014.
- [02] BAZANT, Z.P.; STEFFENS, A.A. mathematical model for kinetics of alkali-silica reaction in concrete. Cement and Concrete Research, USA, v. 30, n. 3, p. 419–428, 2000.
- [03] CAPRA, B.; SELLIER, A. Ortotropic Modelling of Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Structures: Numerical Simulations. Mechanics of Materials, v. 35, p. 817-830, 2003.
- [04] CARLES-GIBERGUES, A; HORNAIN, H. A durabilidade do concreto frente às reações expansivas de origem endógena. In: OLLIVIER, J.-P.; VICHOT, A. Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Ed. Tradução: Cascudo, O.; Carasek, H. 1. ed., São Paulo: IBRACON, 2014.
- [05] DUNANT, C. F.; SCRIVENER, K. L. Micro-mechanical modelling of alkali-silica reaction induced degradation using the AMIE framework. Cement and Concrete Research, USA, v. 40, n. 4, pp. 517–525, 2010.



A evolução da cultura da prevenção da reação álcali-agregado no mercado nacional

ARNALDO BATTAGIN • ANA LÍVIA SILVEIRA • FLAVIO MUNHOZ • INÊS BATTAGIN

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)

I. INTRODUÇÃO

No Brasil acreditava-se que a reação álcali-agregado (RAA) era um fenômeno ligado a obras hidráulicas e as iniciativas para sua prevenção se restringiam a esses tipos de obras.

Atualmente, a adoção de medidas sistemáticas de prevenção nas obras em geral vem evitando a ocorrência de manifestações patológicas dessa natureza, pois com o avanço do conhecimento foram relatados casos em vários outros tipos de obras. Constituem exemplos clássicos de prevenção as ações tomadas nas barragens de Jupia (concluída em 1963), Água Vermelha (construída entre 1975 e 1979), Salto Osório (construída entre 1971 e 1975), Tucuruí, Itaipu, dentre outras, onde foram utilizados materiais pozolânicos para inibir a expansão com o uso local de agregados reativos. Entretanto, a partir de 1985, o meio técnico brasileiro tomou conhecimento da ocorrência desse fenômeno nas barragens de Moxotó e Joanes II, ambas localizadas na Região Nordeste, por reunirem as condições que favoreceram a reação

e pelo desconhecimento até então da natureza do agregado reativo utilizado, o que motivou novas investigações.

Outro fato marcante foi a constatação dos primeiros casos de reação álcali-agregado em fundações de edifícios na região metropolitana da Grande Recife/PE, decorrente do interesse gerado na inspeção das fundações de diversos edifícios habitacionais após a queda do Edifício Areia Branca, em 2004. Cumpre esclarecer que as causas do desabamento desse edifício foram devidamente apuradas e nada se constatou que pudesse apontar possibilidade de ocorrência de reação álcali-agregado. No entanto, a inspeção das fundações de outros edifícios permitiu a verificação da existência de fissuração dos blocos de coroação de estacas ou de sapatas corridas. A análise acurada dessas ocorrências, a partir de testemunhos de concreto extraídos dos elementos de fundação, mostrou tratar-se efetivamente de reação álcali-agregado e somente nos laboratórios da ABCP foram investigados mais de 60 casos dessa região.

Contudo, não se tem notícia de casos onde os efeitos da reação tenham levado à perda de segurança no uso das construções; mas, sim, à necessidade de manutenção corretiva, que, em qualquer situação, é mais onerosa do que a prevenção do fenômeno. Na oportunidade, o IBRACON cumpriu seu papel de disseminar o conhecimento, reunindo, dentre seus associados, um grupo de especialistas que elaboraram dois textos: um, dirigido à mídia não especializada e de grande penetração, procurando conscientizar a população afetada contra notícias alarmantes de colapso das edificações; outro, dirigido a especialistas, incluiu comentários técnicos que foram divulgados intencionalmente pelos meios de comunicação do IBRACON.

No Brasil, atualmente, a tecnologia de avaliação e prevenção da reação álcali-agregado é dominada por alguns centros de pesquisas, destacando-se os ligados às empresas geradoras de energia elétrica, institutos públicos, algumas universidades e centros de pesquisa e laboratórios da iniciativa privada. Popularizar esse conhecimento tem

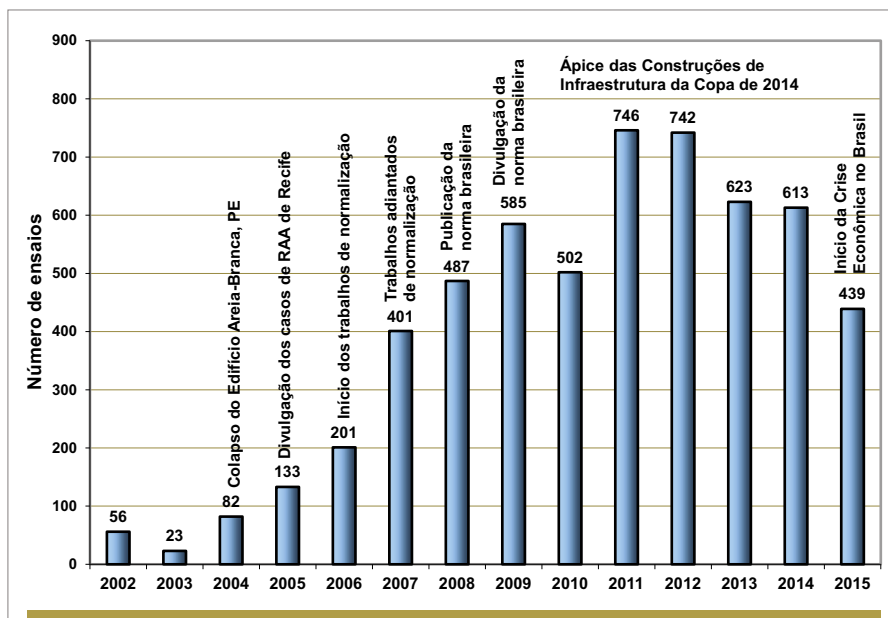
sido o grande desafio lançado à sociedade técnica brasileira.

Atento a essa realidade e ao papel da normalização no Brasil, o ABNT/CB-18, estimulado pelo grupo de especialistas do IBRACON e com base nos textos produzidos, iniciou os trabalhos de desenvolvimento de documentos para ordenar o conhecimento existente e difundir as diretrizes para avaliação e prevenção do fenômeno, visando incorporar esse conhecimento no dia a dia dos responsáveis pelas obras de engenharia no País.

O conhecimento adquirido na prevenção dessa manifestação patológica na construção das grandes barragens brasileiras estabeleceu as bases para a nova norma brasileira, que, visando prevenir a ocorrência do fenômeno nos mais diversos tipos de estruturas de concreto, culminou na publicação, em 2008, dos seis textos normativos que compõem a ABNT NBR 15577, envolvendo um guia de prevenção da RAA e outras partes dedicadas à amostragem e aos métodos de ensaios.

Inspirada também em normas internacionais, a Norma Brasileira foi além dos documentos que lhe serviram de base e estabeleceu uma análise de risco relativa à possibilidade de uma estrutura vir a apresentar manifestações patológicas devidas à reação álcali-agregado. Assim, serve atualmente de guia a projetistas estruturais, tecnólogos de concreto, fornecedores de insumos, construtores e proprietários de empreendimentos quanto aos cuidados necessários para garantir a durabilidade das estruturas, evitando a ocorrência da reação.

A Norma indica os dados relevantes que devem ser obtidos para uma análise crítica consistente da viabilidade de uso de um agregado com relação à potencialidade de ocorrência da reação



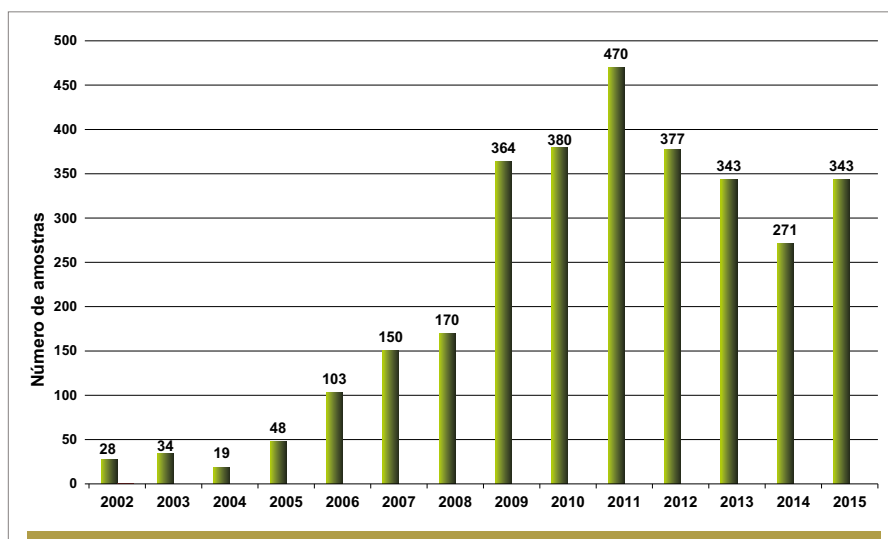
► **Figura 1**

Evolução da quantidade de ensaios de RAA realizados na ABCP de acordo com as normas ASTM C-1260 e ABNT NBR 15577 – Partes 4 e 5

álcali-agregado em uma estrutura específica e, em última instância, prescreve a realização de ensaios laboratoriais.

Esses dados compreendem não somente ensaios de apreciação e análise petrográficas dos agregados, ensaios de barras de argamassa e de corpos de prova prismáticos de concreto, mas também o conhecimento do

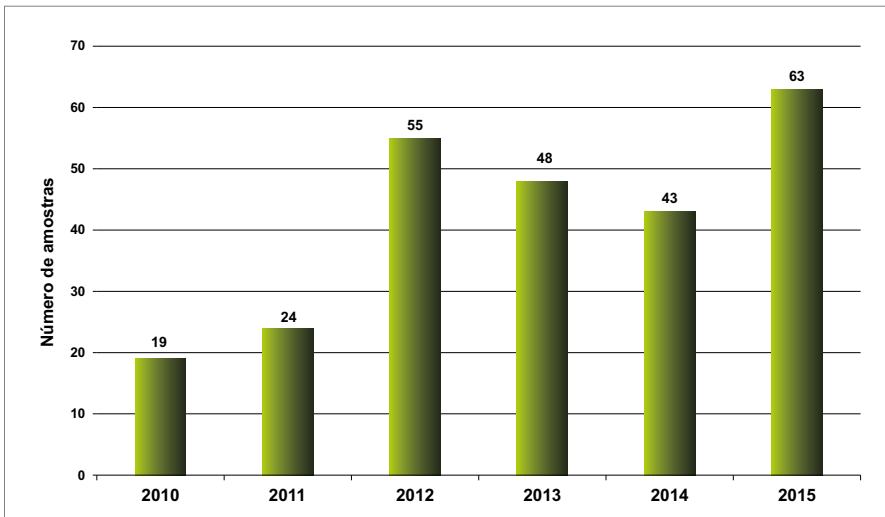
tipo de estrutura (maciça ou não maciça), sua inserção no meio ambiente (concreto em ambiente seco, exposto à umidade do ar, enterrado, submerso, etc.). O teor de álcalis do concreto, o nível de responsabilidade da estrutura e a necessidade de medidas preventivas são fatores que também devem ser considerados na análise crítica.



► **Figura 2**

Evolução da quantidade de análises petrográficas de agregados quanto à RAA realizadas na ABCP





► **Figura 3**

Evolução da quantidade de ensaios de RAA de longa duração realizados na ABCP de acordo com a norma ABNT NBR 15577 – Parte 6

Indubitavelmente, a norma contribuiu para uma mudança no “mercado” de ensaios de RAA.

2. A PREVENÇÃO DA OCORRÊNCIA DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

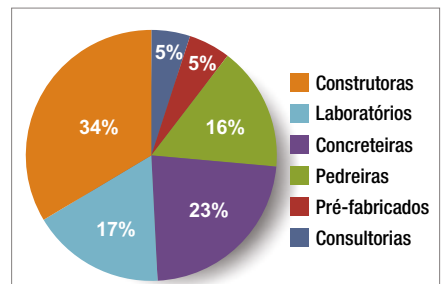
O processo pelo qual se evita a ocorrência da reação álcali-agregado consiste basicamente em limitar o teor de álcalis ou combinar os álcalis presentes no concreto, aprisionando-os na matriz cimentícia, de forma a não permitir o desenvolvimento da reação.

A ABNT NBR 15577 classifica o risco de ocorrência da RAA em função da necessidade de ações preventivas da reação: desnecessária, mínima, moderada e forte; correspondendo ao mesmo grau de intensidade das medidas mitigadoras.

Considerando a tradição brasileira de produção e consumo de cimentos com adições, essa Norma estabelece seu uso como suficiente para prevenir efeitos danosos da reação quando a classificação da ação preventiva for mínima. Estão contemplados nessa condição os cimentos CPII-E, CPII-Z

(ABNT NBR 11578), CPIII (ABNT NBR 5735) e CPIV (ABNT NBR 5736).

Ações preventivas de moderada intensidade, que correspondem a medidas mitigadoras também de moderada intensidade, são atendidas com o uso de cimento Portland de alto-forno (CP III), com pelo menos 60% de es-

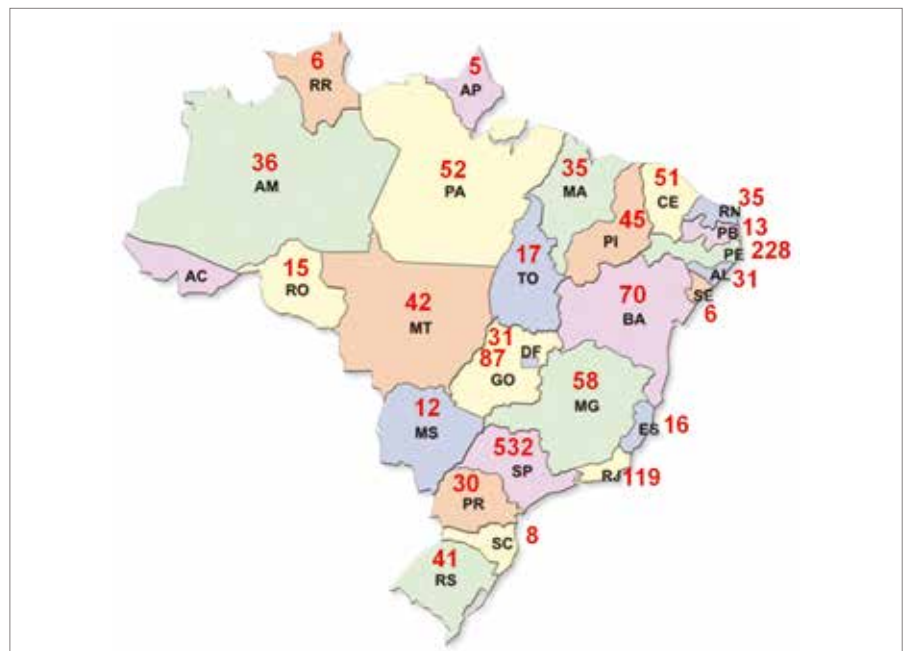


► **Figura 4**

Perfil dos clientes solicitantes de ensaios de RAA, Parte 4

cória em sua composição ou com o uso de cimento Portland pozolânico (CP IV), com no mínimo 30% de pozo-lana. Assim, o uso de cimentos compostos com escória de alto-forno ou pozolana, atendendo às condições acima mencionadas, conforme estabelecido na norma, é considerado suficiente para garantir a ausência de efeitos deletérios devidos à RAA em obras de concreto que não contenham elementos maciços e que não estejam permanentemente em contato com a água.

A norma aponta que, para uma



► **Figura 5**

Distribuição das amostras por Estado

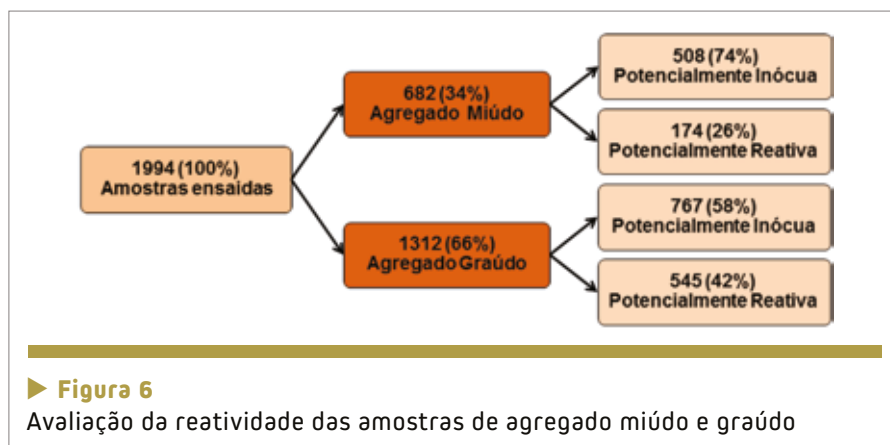
ação preventiva forte, as medidas mitigadoras devem sempre contemplar a realização de ensaios, para comprovar que o agregado apresenta comportamento potencialmente inócuo ou para comprovar a mitigação da reação pelo uso de materiais inibidores, nos casos de agregados reativos.

Estão incluídas nessa condição todas as obras hidráulicas e estruturas em contato direto com água, elementos estruturais enterrados ou em contato com o solo, elementos maciços de concreto, todas as construções consideradas de grande porte e, portanto, de grande responsabilidade estrutural, cuja manutenção, além de difícil, é onerosa e cuja paralisação pode gerar grandes transtornos à população, como barragens, pontes, viadutos, usinas produtoras de energia, e similares. Esses fatos impulsionaram a demanda por ensaios para comprovar a inocuidade dos agregados ou a mitigação da expansão causada pela reação.

3. A EXPERIÊNCIA DA APLICAÇÃO DA ABNT NBR 15577 E A ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS REALIZADOS

A prevenção da reação álcali-agregado é simples, segura e de fácil assimilação pela comunidade técnica. Quando necessárias, as formas de prevenção através do uso de materiais mitigadores da RAA são uma primeira alternativa a ser avaliada técnica e economicamente compatível com a obra e seu projeto, em função do nível de risco apurado.

As Figuras 1 e 2 exemplificam o impacto do desenvolvimento dos trabalhos de divulgação do IBRACON e de normalização sobre o número de ensaios efetuados nos laboratórios da ABCP, na ausência de estatística dos demais laboratórios. Esses ensaios referem-se aos métodos ASTM C 1260,



► **Figura 6**
Avaliação da reatividade das amostras de agregado miúdo e graúdo

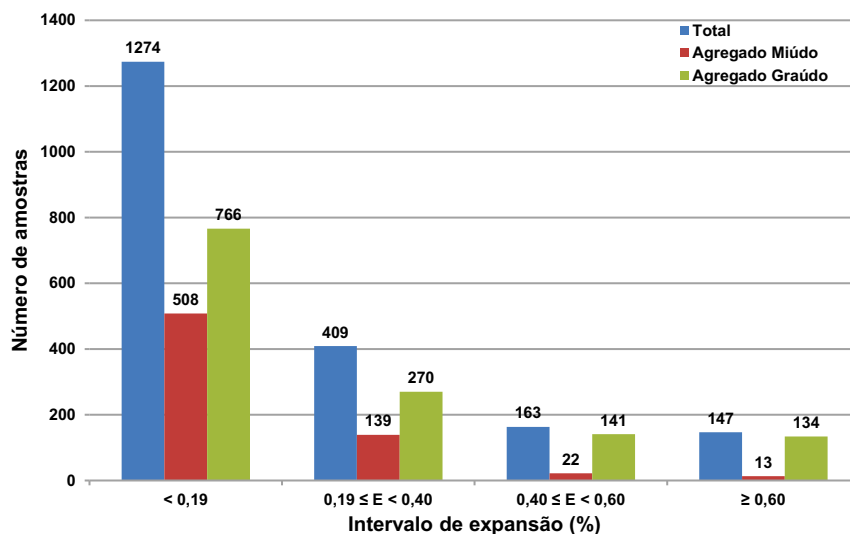
► **Tabela 1 – Avaliação da potencialidade reativa dos agregados**

Estado	Total de amostra	Potencialidade reativa (%)	
		Potencialmente inócua	Potencialmente reativa
Brasil	1994	64	36
SP	532	66	34
PE	228	71	29
PI	45	44	56
BA	70	59	41
RJ	119	100	0
RS	41	27	73
MG	58	65	35

antes de 2008, e ABNT NBR 15577, Partes 4 e 5 (ensaios acelerados de barras de argamassa), a partir de 2008, bem como as análises petrográficas (ABNT NBR 15577, Parte 3), mostradas na Figura 2. A Figura 3, por sua vez, exibe a estatística de ensaios de longa duração, em prismas de concreto.

Interessante comentar que as amostras de agregados são enviadas pelos mais diferentes segmentos, incluindo fornecedores de agregados (pedreiras), empresas de serviços de concretagem, construtoras, projetistas, universidades, além de outros laboratórios, mostrando que toda a cadeia da construção civil vai aos poucos se conscientizando da importância da prevenção de manifestações patológicas ligadas à RAA.

A partir de 1621 amostras de agregado miúdo e graúdo recebidas pelos laboratórios da ABCP, nas quais havia suficiente identificação que permitisse sua rastreabilidade quanto ao tipo de cliente final ou procedência de unidade da Federação, foi possível levantar o perfil dos clientes solicitantes dos ensaios (Figura 4) e a procedência das amostras de agregado por estados brasileiros (Figura 5). Observou-se que as construtoras atualmente constituem a comunidade mais preocupada na prevenção do problema de RAA, seguido da concreteiras e fornecedores de agregado. A maior parte das amostras vem de São Paulo e Pernambuco, com registro de solicitações de todos estados brasileiros, exceto Acre.



► **Figura 7**

Perfil de expansão das amostras de agregado miúdo e graúdo ensaiados na ABCP

► **Tabela 2 – Sugestão de classificação do grau de reatividade de agregados**

Expansão das barras de argamassa aos 28 dias (%)	Classificação da reatividade potencial do agregado	Classificação da ação preventiva
Menor que 0,19%	Potencialmente inócuo	Desnecessária
Entre 0,19 e 0,40%	Potencialmente reativo grau 1	Mínima
Entre 0,41 e 0,60%	Potencialmente reativo grau 2	Moderada
Maior que 0,60%	Potencialmente reativo grau 3	Forte

A Figura 6 apresenta uma síntese da avaliação da potencialidade reativa dos agregados miúdos e graúdos nos ensaios de acordo com a NBR 15577 – Parte 4. Cumpre esclarecer que, para esses cálculos, foram utilizados um total de 1994 amostras, não importando sua procedência ou tipo de cliente e, portanto, em quantidade maior em relação à mostrada na Figura 5.

A Tabela 1 apresenta uma síntese da avaliação da potencialidade reativa dos agregados dos sete Estados com maior número de amostras ensaiadas pela NBR 15577 – Parte 4.

4. SUGESTÕES DO COMITÊ TÉCNICO DO IBRACON PARA O APRIMORAMENTO DA NORMA

Desperta a atenção com relação à

experiência adquirida ao ensaiar inúmeras amostras de agregados pelo método acelerado de barras de argamassa a disparidade de valores de expansão obtidos aos 28 dias de ensaio em cura agressiva alcalina. De fato, observam-se barras de argamassa com expansão desde 0,01% até 1,86%. A Figura 7 ilustra os resultados obtidos.

Em vista desses resultados, como integrantes do CT-201, do IBRACON, representantes da ABCP colocaram em discussão o tema nesse comitê técnico, que deliberou por apresentar uma sugestão de incorporar na norma da ABNT, em sua próxima revisão, a classificação dos agregados quanto ao grau de reatividade potencial e, assim, orientar com mais detalhe os usuários quanto à intensidade das medidas de mitigação. As intensidades das medidas de mitigação estão atualmente na norma ligadas à intensidade da ação preventiva (desnecessária, mínima, moderada ou forte), mas não ao grau de reatividade dos agregados.

Acredita-se que a introdução de classificação de grau de reatividade potencial nível 1, 2 e 3, em função da expansibilidade da barra de argamassa do ensaio acelerado aos 28 dias, poderia contribuir para maior segurança na prevenção de manifestação patológica.

A Tabela 2 apresenta a sugestão de classificação dos agregados quanto ao grau de reatividade potencial. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- [01] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1260 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates. Philadelphia, 2007.
- [02] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1293 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction. Philadelphia, 2006.
- [03] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1567 Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate. Philadelphia, 2007.
- [04] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Relatórios internos, vários, São Paulo de 2000 a 2016
- [05] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15577 Agregados – Reatividade álcali-agregado – Partes 1 a 6. Rio de Janeiro, 2008.
- [06] BATTAGIN, I. L. S.; BATTAGIN, A. F.; SBRIGHI NETO, C. A Norma técnica brasileira de reação álcali-agregado faz seu primeiro aniversário. Revista Concreto e Construções, v. 54, p. 34-47, 2009.

A nova Norma Brasileira de reação álcali-agregado

CLAUDIO SBRIGHI NETO – COORDENADOR • EDUARDO BRANDAU QUITETE – SECRETÁRIO

CT 201 – COMITÊ IBRACON DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

I. INTRODUÇÃO

 Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, através de seu Comitê CT 201, tem trabalhado no desenvolvimento de uma proposta para a revisão da ABNT NBR 15577 – Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, de forma a oferecer à ABNT esse trabalho técnico e dinamizar o processo de atualização dessa Norma e, paralelamente, encontra-se desenvolvendo as seguintes publicações:

- Guia prático para prevenção da reação álcali-agregado;

- Texto comentado da Parte 1 da NBR 15577;
- Guia para inspeção e diagnóstico da reação álcali-agregado;
- Guia de ações frente a estruturas afetadas pela reação álcali-agregado.

Essas tarefas estão sendo realizadas ao longo de suas reuniões, que ocorrem com a periodicidade média mensal e para as quais os sócios do IBRACON podem se inscrever e participar dando sua contribuição.

A Norma ABNT NBR 15577 e sua revisão fazem parte do esforço do meio técnico frente à crescente preo-

cupação com a qualidade e durabilidade das estruturas de concreto, que tem recentemente avançado muito. O fenômeno patológico conhecido como reação álcali-agregado (RAA) é complexo e foi identificado há mais de 60 anos, porém a sua natureza envolvendo interação entre reações químicas, características mineralógicas dos reagentes, princípios básicos da tecnologia do concreto e seus efeitos na estabilidade dimensional e na integridade das estruturas de concreto, resultam ainda hoje em ação nefasta para centenas, para não dizer milhares, de obras em todo mundo.

Reportam-se em referências técnicas, escritas em muitas línguas diferentes, a sua ocorrência em obras relevantes, como pontes, viadutos, barragens, túneis, pavimentos, bem como em fundações de edificações residências e comerciais, com grande prejuízo decorrente dos altos custos envolvidos em sua recuperação.

2. ESCOPO

O escopo atual da NBR 15577 da ABNT, por se tratar de um Guia, envolve seis Partes que enfocam: especificação, amostragem, ensaios petrográficos, ensaios de curta duração, ensaios de longa duração e a verificação de medidas mitigadoras da reação.

A tarefa de preparar, dentro do



Viga e laje de uma barragem no Brasil afetada com RAA, nas quais se vê a abertura de fissura provocada

CT 201, o texto-base para revisão da Norma Brasileira coube a um grupo de profissionais e envolveu ao longo de suas 15 reuniões, iniciadas em agosto de 2013, mais de 30 profissionais com formação principalmente em engenharia, geologia e química. O texto-base foi entregue a ABNT em maio de 2016.

Até o momento, centenas de horas técnicas foram dedicadas pelo CT e pelos Grupos de Trabalho, formados por profissionais experientes para desenvolver tarefas específicas, tais como: estruturar a Parte 1 de modo a sintetizar e consolidar as informações técnicas obtidas nas demais Partes do texto normativo; consolidar os dados petrográficos e compatibilizá-los com os dados dos ensaios em barras de argamassa; e a definição atualizada dos estudos de mitigação da reação. Agora o projeto está em avaliação na Comissão de Estudos do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-18), que espera enviar o projeto para Consulta Nacional ainda no final de 2016.

3. MOTIVAÇÃO PARA REVISAR A NORMA

Além da responsabilidade formal da Comissão de Estudos de revisar periodicamente a Norma Técnica, tornando-a sempre um reflexo do conhecimento técnico disponível na data em que foi registrada, há também o objetivo de tornar a Norma Técnica um propulsor na disseminação de novos conhecimentos e de novas técnicas, de modo que seu papel didático, fundamental para o desenvolvimento do meio técnico, seja cumprido.

Assim, a Comissão de estudos também enfrentará o desafio de implantar com segurança uma sétima Parte, enfocando o ensaio acelerado em prismas de concreto, com base na



CRÉDITO: SELMO KUPERMAN

Bloco de fundações afetado por RAA de edifício em São Paulo

experiência nacional e internacional, que assegure uma metodologia ágil e eficiente na definição da reatividade potencial de agregados e de sua combinação em traços de concreto. Ambientes propícios à aceleração e limites seguros para definir potencialidade reativa deverão ser os focos principais desta tarefa que caberá à Comissão de Estudos.

4. O GUIA PRÁTICO PARA PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

O Comitê CT 201 está empenhado em finalizar o texto deste Guia, que procura de maneira simplificada orientar o meio técnico quanto à prevenção ao risco da ocorrência da reação patológica e suas conseqüências técnicas e financeiras envolvidas, que quase sempre são de grande monta. Existe a pretensão de lançar esta publicação IBRACON, dentro da série de Práticas Recomendadas, durante o próximo Congresso Brasileiro do Concreto, que ocorrerá no Minascentro, em Belo Horizonte, em outubro de 2016.

As demais publicações citadas no primeiro tópico deste artigo serão alvos subsequentes do CT 201, que espera

contar com novas adesões de sócios para incrementar suas tarefas.

5. REFLEXÕES SOBRE O FUTURO DA NBR 15577 DA ABNT

O excelente resultado técnico do 15º International Conference on Alkali Aggregate Reaction (ICAAR 2016), realizado em conjunto com a Universidade Estadual Paulista (UNESP), de 3 a 7 de julho, no Hotel Maksoud Plaza, em São Paulo, leva à necessidade de algumas reflexões sobre o futuro do conhecimento sobre a reação álcali-agregado após quinze eventos ICAAR e mais de 60 anos de pesquisa sistemáticas. Foram trabalhos técnicos incríveis sobre a química e os mecanismos da reação, tentativas de modelagem do fenômeno, avaliação de medidas preventivas e muitos outros temas correlatos.

Após tantos dados técnicos recolhidos, constituindo um acervo consistente de informações, nos cabe a estratégia de dar um passo para trás e olhar holisticamente o assunto.

Assim, em primeiro lugar, deveríamos focar onde queremos chegar e nos parece claro que se trata de uma Norma Técnica de Engenharia com sua

objetividade característica. Claro que os fundamentos químicos são necessários, pois tudo começa, e às vezes nos esquecemos disto, com uma reação química, que, por mais complexa que seja, está sujeita às leis da química. Este panorama químico envolve, entre outros, o aumento ou a diminuição da velocidade de reação, com a presença de catalisadores ou inibidores, podendo chegar até a completa inibição em função das condições de temperatura, variações da concentração dos reagentes e do meio de reação, que pode ser mais ou menos oxidante, ou redutor, e há outras tantas variáveis que podem estar envolvidas.

O produto de um processo químico não depende só das condicionantes da reação, mas das relações estequiométricas dos reagentes, no caso álcalis e sílica em suas mais variadas formas, da presença de compostos ou elementos presentes em pequenas quantidades que possam acelerar ou retardar as reações. Desse modo, as variáveis são quase infinitas se considerarmos em conjunto todas as condições ambientais à quais a estrutura de concreto estará submetida durante a construção ou quando exposta em condições de trabalho.

Por seu turno, se considerarmos que os vários tipos de cimentos Portland mudam regularmente seus atributos químicos em função de variações em sua matéria-prima, de alternativas de operação do forno, como diferentes pressões para atingir metas de produção e, mais recentemente, com o processo denominado coprocessamento, no qual inúmeros elementos químicos menores são introduzidos no clínquer por ocasião da queima de materiais potencialmente poluentes, com as mais diversas características químicas, aumenta-se ainda mais a quantidade de variáveis envolvidas na reação álcali-agregado.

Além disso, as jazidas de agregados mudaram com a aceleração da exploração, especialmente em torno dos grandes centros consumidores, não só por exigências dos órgãos controladores do meio ambiente, mas também em função da exaustão de muitas das fontes tradicionais de fornecimento, obrigando o uso de alternativas com características menos adequadas à produção de agregados para concreto. Soma-se a isto a variabilidade intrínseca dos maciços rochosos, bastante comum na forma de variações petrográficas

texturais e estruturais, além das variações do nível de intemperismo, que altera sua composição e, portanto, suas características químicas.

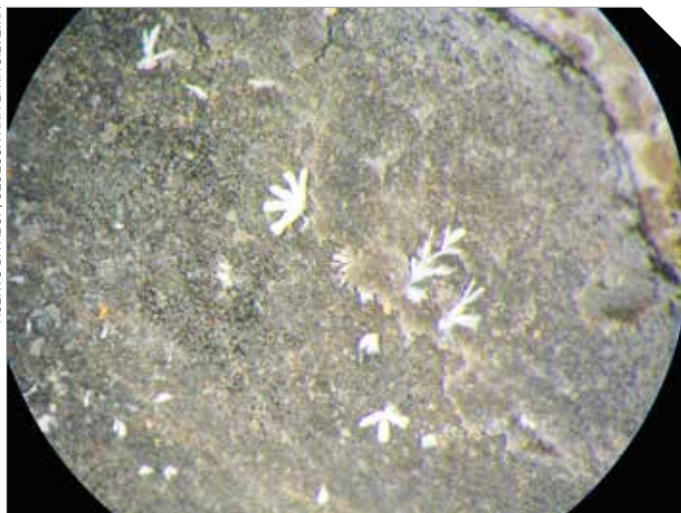
Fora essas condições de contorno, que influenciam diretamente e de

várias formas nos reagentes envolvidos na reação álcali-agregado, há também o constante avanço na tecnologia do concreto, que inclui o desenvolvimento de aditivos. Aditivos estes que contribuíram para o avanço que vai desde o concreto com trabalhabilidade reduzida e baixa resistência até aqueles denominados autoadensáveis e com elevadíssima resistência mecânica. Com este progresso fatalmente haverá a inserção de compostos químicos que, mesmo em pequena quantidade, poderão acelerar ou retardar as reações químicas, além do fato de que a microestrutura do concreto também muda, certamente afetando o desenvolvimento das feições patológicas características da reação álcali-agregado.

Enfim, é preciso um novo olhar que comece com o entendimento do que os projetistas consideram como adequado em termos de resistências mecânicas e durabilidade do concreto, parâmetros que garantem a vida útil projetada para a obra. Por exemplo, qual o nível de fissuração admissível, quais as dimensões, distribuição e características dessas fissuras, qual a perda de resistências mecânicas que, mesmo ocorrendo, ainda mantém a estabilidade e segurança da obra, e outros parâmetros, como aqueles ligados a propriedades específicas, como o módulo de elasticidade do concreto.

Para a obra e para o engenheiro responsável, o que importa é o comportamento do concreto de sua obra. Assim parece razoável que o traço ou traços específicos, com seus materiais selecionados para obra em particular, sejam submetidos a um procedimento ou aos procedimentos que possam dar resposta quanto ao nível de risco que determinado traço ficará submetido,

ACERVO DA ABCP. GEÓLOGA ANA LÍVIA SILVEIRA



Dendritos de gel proveniente da RAA sobre agregado

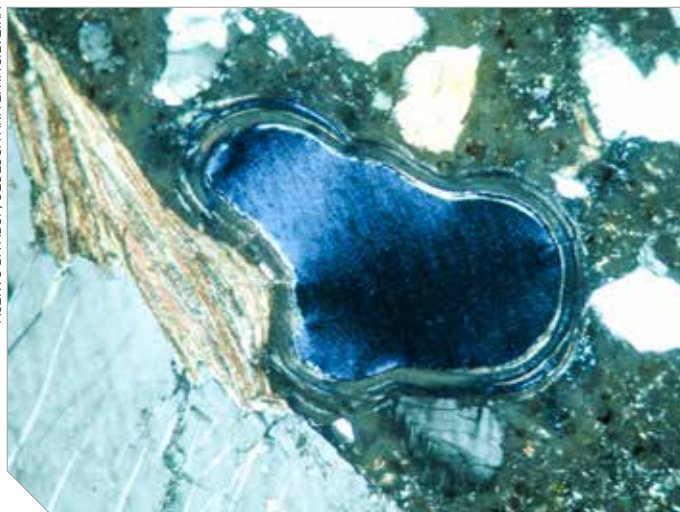
considerando condições ambientais e a sua posição na estrutura. Claro que o ideal seria conduzir corpos de prova para as condições previstas e aguardar resultados de longa duração, mas, muitas vezes, estes prazos são incompatíveis com as necessidades da obra.

Há, portanto, necessidade de encontrar respostas, acelerando o processo de avaliação com a simulação da reação álcali-agregado num determinado traço e, certamente, a temperatura e o ambiente alcalino serão importantes aliados nesta tarefa. Não é uma tarefa fácil, mas devido à complexidade do fenômeno, é a mais promissora trilha para encontrar uma definição confiável e adequada à necessidade da maioria das obras, pois a outra solução seria obviamente a adoção de medidas mitigadoras em praticamente todos os

traços utilizados, o que nem sempre é possível na prática corrente das obras.

É o momento de objetivar pragmaticamente e concentrar esforços de pesquisa, pensando em como uma obra pode se beneficiar, através da normalização, de todo arsenal de conhecimento concentrado e da elevada competência estabelecida, num 'timing' aceitável, de modo a garantir a durabilidade e a segurança com respeito à reação álcali-agrega-

ACERVO DA ABCP - GEÓLOGA ANA LÍVIA SILVEIRA



Petrografia de agregado onde se vê gel proveniente da RAA preenchendo poro

do. Portanto, o membros do CT 201 não só trabalharam na proposta de revisão da NBR 15577, como ainda têm participação ativa na Comissão de Estudos da ABNT, sempre atentos a esses objetivos. 🏗️

Durabilidade do Concreto

Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

DURABILIDADE DO CONCRETO

- **Editores** Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
- **Editora francesa** Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França
- **Coordenadores da edição em português** Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
- **Editora brasileira** IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto.

A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-22-0

Edição: 1ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 615

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



FHECOR
DO BRASIL
Engenharia



Eficácia de cimentos com adição de cinzas volantes para prevenção de RAA

SILVIA R. S. S. VIEIRA – GERENTE DE PESQUISA & DESENVOLVIMENTO & QUALIDADE • PAULO ROBERTO NIEBEL – CONSULTOR TÉCNICO DE MERCADO

VOTORANTIM CIMENTOS

I. INTRODUÇÃO

As reações álcali-sílica e álcali-silicato (reações álcali-agregado, RAA) são processos químicos que envolvem agregados reativos usados em concreto, e álcalis, como sódio e potássio. Os produtos dessas reações são expansivos e podem causar deslocamentos estruturais, além de fissuração e deterioração do concreto.

As reações álcali sílica e álcali-silicato são desencadeadas pela dissolução da sílica amorfa ou cris-

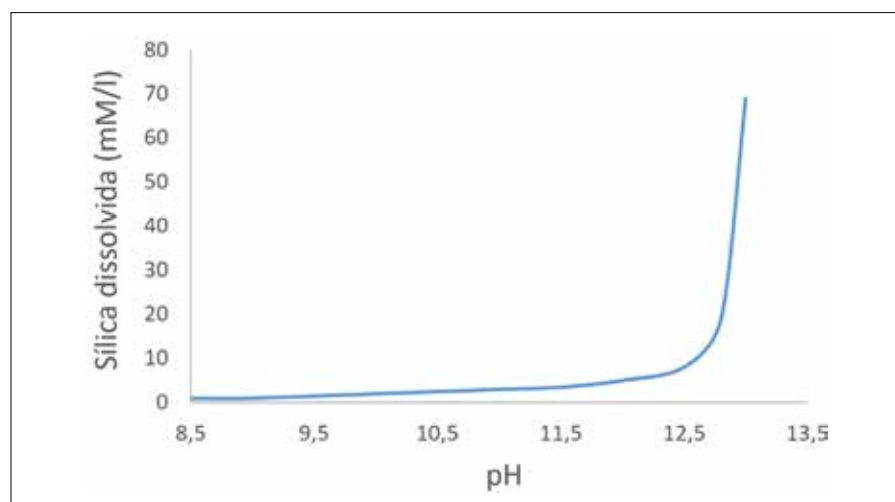
talina, respectivamente, que constitui os agregados, em ambientes de pH elevado, ou seja, maior que 12 (Tang & Su-Fen, 1980) (Figura 1). No caso do concreto, o pH elevado é resultado da presença de Ca(OH)_2 , gerado pela hidratação do cimento, e dos hidróxidos gerados pelas reações dos íons sódio e/ou potássio com água. A fonte destes álcalis é, em geral, o próprio cimento, mas eles também podem ser fornecidos pelos aditivos químicos ou pela água de mistura do concreto, por exem-

plu. Estudo recente de Soares *et al.* 2016, apresentado no ICAAR 2016 (*International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete*), indica que alguns minerais, como feldspatos e micas, também podem contribuir com álcalis para a reação.

A sílica dissolvida dos agregados forma ácido silícico que reage com Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e H_2O , formando gel cálcico sílico alcalino, viscoso e expansivo.

Embora estudos recentes tenham mostrado que o uso de selantes pode reduzir as expansões causadas pelas reações álcali-agregado (ex. Lute *et al.* 2016), a paralisação do processo é ainda impossível. Portanto, sua prevenção é essencial.

A prevenção pode ser feita através do uso agregados inertes – o que nem sempre é possível – pela limitação do teor de álcalis no concreto e garantindo-se que não haverá aporte de álcalis durante a vida útil da estrutura, e, mais eficazmente, pela diminuição do pH do concreto. Isso pode ser conseguido pela redução do teor de álcalis no concreto e/ou redução do teor de Ca(OH)_2 da pasta de cimento. Esta redução do teor de portlandita [Ca(OH)_2] é, por sua



► **Figura 1**

Influência do pH na dissolução de sílica amorfa (modificado a partir de Tang and Su-Fen, 1980)

vez, alcançada pelo uso de adições ativas, como escórias e pozolanas, que durante sua hidratação consomem portlandita para formar C-S-H.

2. PREVENINDO REAÇÕES ÁLCALI-SILICATO COM CIMENTOS INIBIDORES

Praticamente todas as adições ativas, ou seja, escórias, cinzas volantes e pozolanas naturais e artificiais podem ser usadas para inibir as reações álcali-silica e álcali-silicato. No entanto, os teores necessários para a prevenção variam grandemente e dependem da composição química desses cimentícios e de outros fatores, tais como: reatividade do agregado e quantidade de álcalis disponíveis para a reação (Thomas & Folliard 2007).

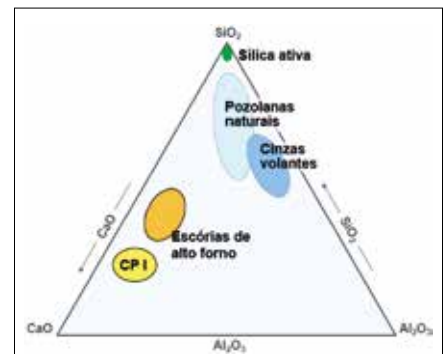
De acordo com Thomas (2011), a eficácia das adições, no que diz respeito à prevenção das reações álcali-silicato e álcali-silica, aumenta com o aumento dos seus teores de sílica e diminuição dos seus teores de cálcio e álcalis. A Figura 2 apresenta, esquematicamente, as composições químicas, em termos de suas quantidades de sílica, alumina e óxido de cálcio, das adições comumente usadas para inibição das reações álcali-silicato e álcali-silica. Assim, com base nesta Figura, é possível deduzir que, todos os outros fatores sendo iguais (ex. agregado, teores de álcalis e condições de exposição do concreto), os teores de adição necessários para prevenir as reações álcali-silicato e álcali-silica aumentam conforme a relação: sílica ativa → cinzas volantes → escórias de alto forno. No caso da pozolanas na-

turais, seu caráter inibidor dependerá não somente de sua composição química, mas também de sua reatividade, que tende a ser muito mais variável que a reatividade das cinzas e das escórias.

De modo geral, são precisos teores da ordem 10% de adição de sílica ativa e maiores que 25% de cinzas volantes e 50% de escórias para a prevenção das reações álcali-silica e álcali-silicato. No entanto, esses valores devem ser definidos por ensaios que considerem os insumos a serem usados no concreto, já que eles dependem fortemente da reatividade dos agregados e dos álcalis provenientes do cimento, dos aditivos e de quaisquer outras fontes.

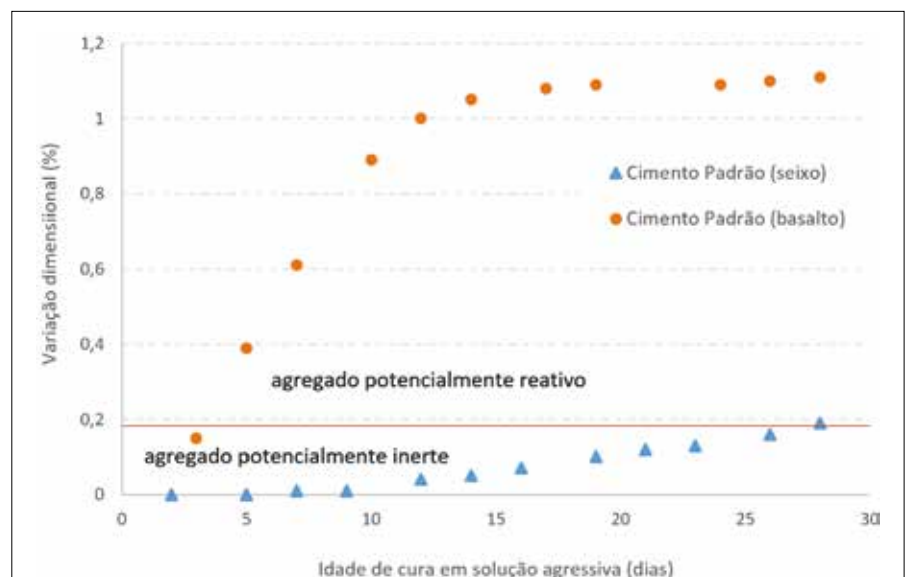
3. ESTUDO DE CASO

Seixos e basaltos, a serem usados como agregados no concreto a ser aplicado em uma instalação industrial em Minas Gerais, foram

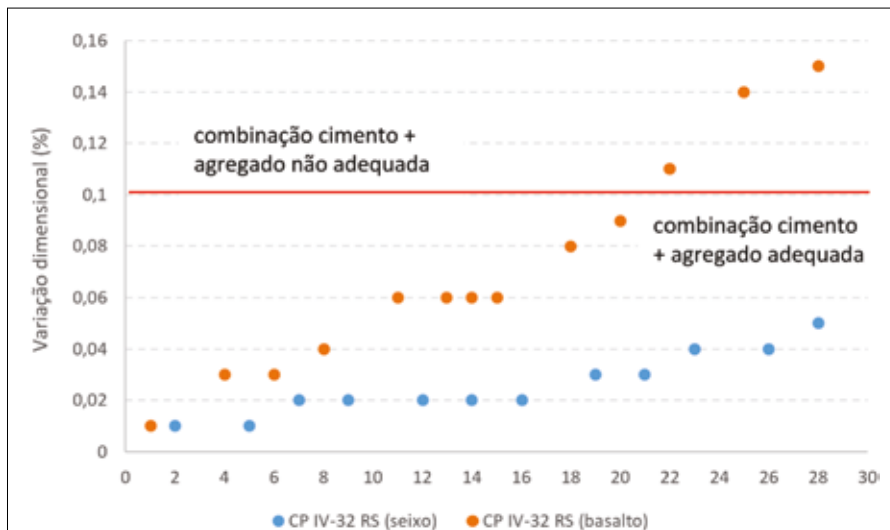


► **Figura 2**
Composições químicas, esquemáticas, em termos de seus teores de SiO_2 , Al_2O_3 e CaO , das adições comumente usadas para inibição das reações álcali-silicato e álcali-silica, e de um cimento tipo I, para comparação

analisados por petrografia e ensaios acelerados, de acordo com os métodos prescritos pelas NBR 15577-3 e NBR 15577-4, respectivamente. O método especificado pela NBR 15577-4 é indicado para avaliar a reatividade de agregados frente a



► **Figura 3**
Variação dimensional de barras de argamassa preparadas com agregados reativos e cimento padrão não inibidor (NBR 15577-4). A linha vermelha indica o limite de expansão (0,19%) aos 28 dias de cura



► **Figura 4**

Varição dimensional de barras de argamassa preparadas com agregados reativos e cimento CP IV 32 (NBR 15577-5). A linha vermelha indica o limite de expansão (0,10%) aos 14 dias de cura

uma solução alcalina de hidróxido de sódio, pela medida da expansão de barras de argamassa preparadas com este agregado e um cimento reconhecidamente não inibidor. De acordo com a NBR 15577-1, expansões maiores que 0,19% aos 28 dias de cura indicam que o agregado é potencialmente reativo.

Os resultados mostraram que, tanto os seixos quanto os basaltos, são potencialmente reativos e que a reatividade do basalto é extremamente elevada (Figura 3).

Assim, visando prevenir a ocorrência de reações álcali-agregado,

foram realizados testes destes agregados com um cimento CP IV com adição de, aproximadamente, 30% de cinzas volantes, segundo a NBR 15577-5, que mede a variação dimensional de barras de argamassa preparadas com o agregado reativo e cimentos com adições. Os resultados são apresentados na Figura 4.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios realizados mostraram que o cimento CP IV 32, com adição de cerca de 30% de cinzas volantes, foi eficaz

na inibição da reação álcali-silicato promovida pelo seixo, mas não pelo basalto. Embora aos 14 dias de cura a variação dimensional medida na barra de argamassa preparada com o basalto tenha ficado abaixo do limite máximo de expansão, ela ultrapassou este valor aos 22 dias, indicando que, para mitigar de forma segura a reação álcali-agregado seriam necessários maiores teores de adição de cinzas volantes.

São necessários estudos mais detalhados para entender esta diferença de comportamento. No entanto, é muito provável que a maior reatividade do basalto se deva à presença de vidro vulcânico, que é um material silicoso amorfo, comum neste tipo de rocha. Sílica amorfa ou de baixa cristalinidade tende a dissolver mais rápido que as formas de sílica cristalinas, como o quartzo, em geral presentes nos seixos, sendo, portanto, mais propensa à reação álcali-agregado.

5. CONCLUSÃO

Os estudos comprovam que as cinzas volantes são capazes de reduzir as expansões devidas às reações álcali-silica e álcali-silicato. Os teores de adição necessários de cinzas volantes, porém, dependem da reatividade dos agregados. 🏠

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Lute, R.; Folliard, K. J.; Drimalas, T.; Rust, C. K. Coatings and sealers for mitigation of alkali-silica reaction and/or delay ettringite formation. Proceedings of the 15th ICAAR International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete, São Paulo, 2016
- [02] Soares, D.; Silva, A. S.; Mirão, J.; Fernandes, I.; Menéndez, E., Study on the factors affecting alkalis release from aggregates into ASR. Proceedings of the 15th ICAAR International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete, São Paulo, 2016
- [03] Tang, M.S., Su-Fen, H., Effect of Ca(OH)₂ on Alkali-Silica Reaction. Proceedings of the Eight International Congress of Cement Chemistry, Paris, France, Vol. 2, 1980, pp. 94-99.
- [04] Thomas, M. & Folliard, K. J., Concrete aggregates and the durability of concrete. In: C. L. Page, M. M. Page (eds), Durability of concrete and cement composites, Woodhead, Cambridge, U.K., 2007, pp. 247 – 281.
- [05] Thomas, M (2011): The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review. Cement and Concrete Research (41): 1224-1231.



Metodologia laboratorial para avaliação de expansão em estruturas afetadas por RAA

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO – DIRETOR TÉCNICO

ANDRIOLO ENGENHARIA LTDA.

MARCO ANTONIO CAMARGO JULIANI – DIRETOR TÉCNICO • DANIELA C. LEMES DAVID – ENGENHEIRO CIVIL

TIAGO MARRARA JULIANI – ENGENHEIRO CIVIL

IEME BRASIL

I. INTRODUÇÃO

Este texto apresenta uma proposta de metodologia para avaliar o tempo remanescente até a estabilização das expansões decorrentes da reação álcali/sílica-agregado (RAA). Os estudos foram baseados nos resultados de ensaios realizados em testemunhos extraídos de estruturas de concreto afetadas por esse fenômeno.

Os estudos e resultados usados nesta publicação foram desenvolvidos através de um conjunto de ações adotadas para atestar a segurança do tráfego de mais de 12.000 veículos diários sobre a Ponte do Mar Pequeno, construída no início dos anos 80, pertencente ao complexo de vias expressas Imigrantes, operada pela Ecovias, sob regime de Concessão desde 1998.

A ponte do Mar Pequeno é composta por duas vias duplas de 11 m de largura cada uma, com comprimento de 1013 m. Foi construída sobre o Canal Santos-São Vicente, na orla do Oceano Atlântico, ou seja, em

ambiente marítimo, com temperatura média anual de 22,3°C.

A ponte consiste em 33 vãos isostáticos, com tabuleiros tipo grelha, cada um com 4 (Pista Sul) ou 5 (Pista Norte) longarinas.

Cada um dos 28 apoios intermediários da ponte é constituído por um único pilar, de seção variável, apoiado

do sobre um bloco de fundação com 8 a 12 estacas de concreto e camisa metálica. Os apoios centrais são constituídos por pilares duplos, apoiados também sobre blocos de fundação e estacas. Nos encontros, os apoios consistem em uma viga associada ao bloco de fundação, sem segmento de pilar. A Figura 1 ilustra a ponte.



► **Figura 1**

Vista da ponte sobre o Mar Pequeno na baía de Santos, sobre o canal Santos - São Vicente



► **Figura 2**
Fissuração nos blocos

Os agregados graúdos utilizados foram adquiridos de jazidas da Baixa da Santista, tratando-se basicamente de granitos.

Sob o regime de Concessão, os procedimentos técnicos consideram inspeções periódicas com especificidades distintas, que se iniciaram em 1999. A partir dessas inspeções foram observadas fissuras em alguns elementos estruturais, (Figura 2), que foram monitoradas e exigiram atenção crescente e ensaios de averiguação. Em 2006/2007, foi constatado que as fissuras eram decorrentes das expansões devidas ao fenômeno RAA.

Diante desse recém-descoberto cenário, foram tomadas ações para:

- Avaliar a segurança estrutural da ponte, de modo a permitir a operação sem restrição de tráfego de veículos;
- Estabelecer ações reparatórias,

de modo que a provável evolução das aberturas das fissuras não permitissem a ocorrência de ações agressivas devido ao ambiente marítimo, afetando ainda mais a durabilidade das estruturas;

- Estudar a evolução da RAA, de modo a se ter uma possível avaliação do tempo requerido para uma manutenção sistemática, considerando o fenômeno e a segurança operacional da estrutura. Ou seja, procurou-se avaliar condições e cuidados, cujos procedimentos permitissem operar a ponte com segurança.

2. OBSERVAÇÕES RELEVANTES E AÇÕES ADOTADAS

As inspeções periódicas permitiram observar fissuras nas faces superiores das vigas travessas originadas de falhas executivas durante a época de construção. Constatou-se que as armaduras principais (tirantes das vigas travessas) e secundárias (acima das armaduras dos tirantes) não eram consistentes com o detalhamento de projeto original; a abertura de fissuras encontradas na superfície dos blocos de transição sobre estacas eram superiores às toleradas pela Norma ABNT-NBR 6118 (Limites para fissuração

e proteção das armaduras quanto à durabilidade). Uma série de ensaios laboratoriais em testemunhos de concreto extraídos da estrutura (março/maio de 2006) confirmou a ocorrência de RAA.

A partir de dezembro de 2006 iniciou-se uma campanha de instrumentação e monitoramento (Figura 3) dos elementos da estrutura (vigas travessas e blocos), de forma a permitir a condução segura das análises para desenvolvimento de um projeto de recuperação eficiente.

Também foram realizados ensaios dinâmicos, através do posicionamento de acelerômetros em cada tramo da estrutura para determinação de suas frequências naturais. Os valores medidos em campo serviram para validar o modelo matemático computacional da ponte (Figura 4). A comparação entre os resultados teóricos e empíricos mostrou que o comportamento estrutural da ponte ainda é próximo às condições iniciais de projeto, apesar das patologias existentes provocadas pelas reações expansivas.

Provas de carga estáticas e dinâmicas (Figura 5) foram realizadas para avaliar o comportamento estrutural e eventuais reservas elásticas. Concluiu-se que a estrutura continuava



► **Figura 3**
Aspectos do Sistema de monitoração implantado



► **Figura 4**

Ilustrações gráficas do modelo computacional adotado para estimar o comportamento das estruturas



► **Figura 5**

Prova de carga estática (esquerda) e dinâmica (direita)



► **Figura 6**

Aspectos da recuperação superficial de modo a estabelecer a estanqueidade dos elementos estruturais

trabalhando de forma elástica, apesar das fissuras existentes.

O modelo matemático tridimensional adotado, considerando uma taxa de expansão de 50 microstrains/ano, simulou os efeitos provocados pela expansão do concreto devido à RAA. Os resultados foram analisados verificando-se as tensões nas três direções.

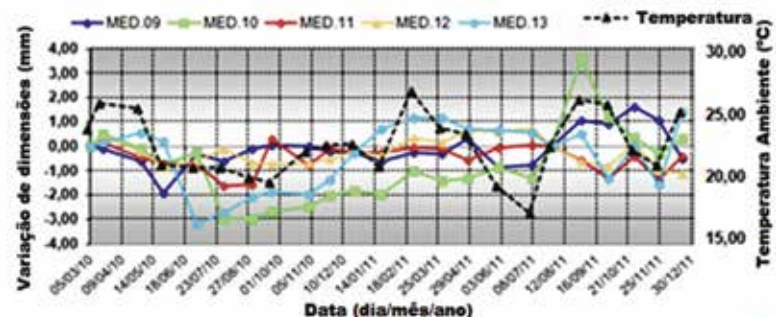
Paralelamente, foram consultadas várias entidades internacionais especializadas no assunto, buscando conhecer sobre produtos a serem aplicados para a restauração das superfícies e garantir proteção e estanqueidade para mitigar eventuais ataques às armaduras, potencializadas pelo ambiente marinho.

O início da monitoração dos elementos estruturais coincidiu com o início do período de obras de

reparo (Figura 6), executadas durante os anos de 2009 a 2011, estendendo-se até o ano de 2012, quando se observou a estabilização prática das leituras de deformações (Figura 7).

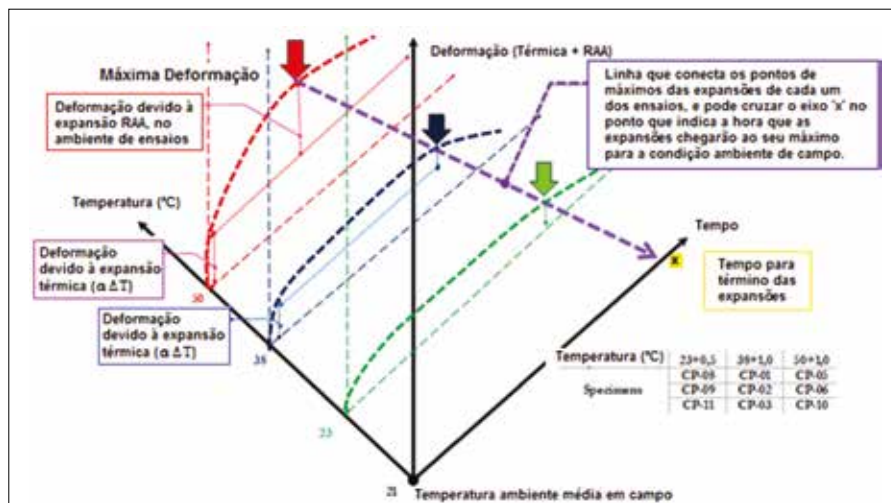
3. ASPECTOS TÉCNICOS ADICIONAIS

Na etapa de consulta a entidades e profissionais especializados, procurou-se também comparar procedimentos, no que diz respeito a



► **Figura 7**

Medição da expansão entre pontos (distantes mais de 2,5m) de alguns blocos afetados, durante o período 05/03/2010 a 30/12/2011



► **Figura 8**
 Simulação gráfica para os resultados de expansões medidas nos corpos de prova sazoados em distintas condições de temperatura

solução 1 N de NaOH) e a 38° C. O principal objetivo desse ensaio é avaliar o potencial de expansão futura induzida devido à RAA ou quantias remanescentes de sílica reativa nos agregados. Esse ensaio adota condições similares de armazenagem indicadas no ASTM C 1260 – *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. Conservar os testemunhos em uma solução a 80°C condiciona a uma grande disponibilidade de álcalis que pode induzir toda a sílica restante a reagir. Esse ensaio destina-se a fornecer um limite superior para a expansão residual devida a RAA.

A sugestão do Prof. Folliard foi de adotar 38°C como a temperatura de cura. Entretanto, optou-se por realizar testes adicionais em conjuntos distintos de corpos de prova, armazenando os mesmos em três

monitoramentos, testes, avaliações e práticas de reparo estrutural, adotados em outros países, aplicados a estruturas afetadas por RAA e sua adaptabilidade ao meio brasileiro.

outras indicações, sugeriu estimar o potencial remanescente de expansão das peças. Isto implicaria na extração de núcleos de concreto da estrutura, armazenando-os em um ambiente úmido a 100% (com uma

O Prof. Kevin J. Folliard, entre



► **Figura 9**
 Aspectos durante a realização dos ensaios, mostrando os anéis para a medida das deformações, a exsudação de gel da RAA, o tanque de cura, o terminal de leitura e a caixa de leitura

temperaturas distintas (23°C, 38°C e 50°C), sob as mesmas condições de umidade e saturação de NaOH. A escolha das temperaturas para realização dos testes adicionais teve a intenção de se estabelecer uma regressão matemática, visando obter o tempo necessário que minimizasse a chance de ocorrer aumento das fissuras (incremento das expansões), considerando a temperatura ambiente da estrutura. Ou seja, estimar a taxa de expansão remanescente.

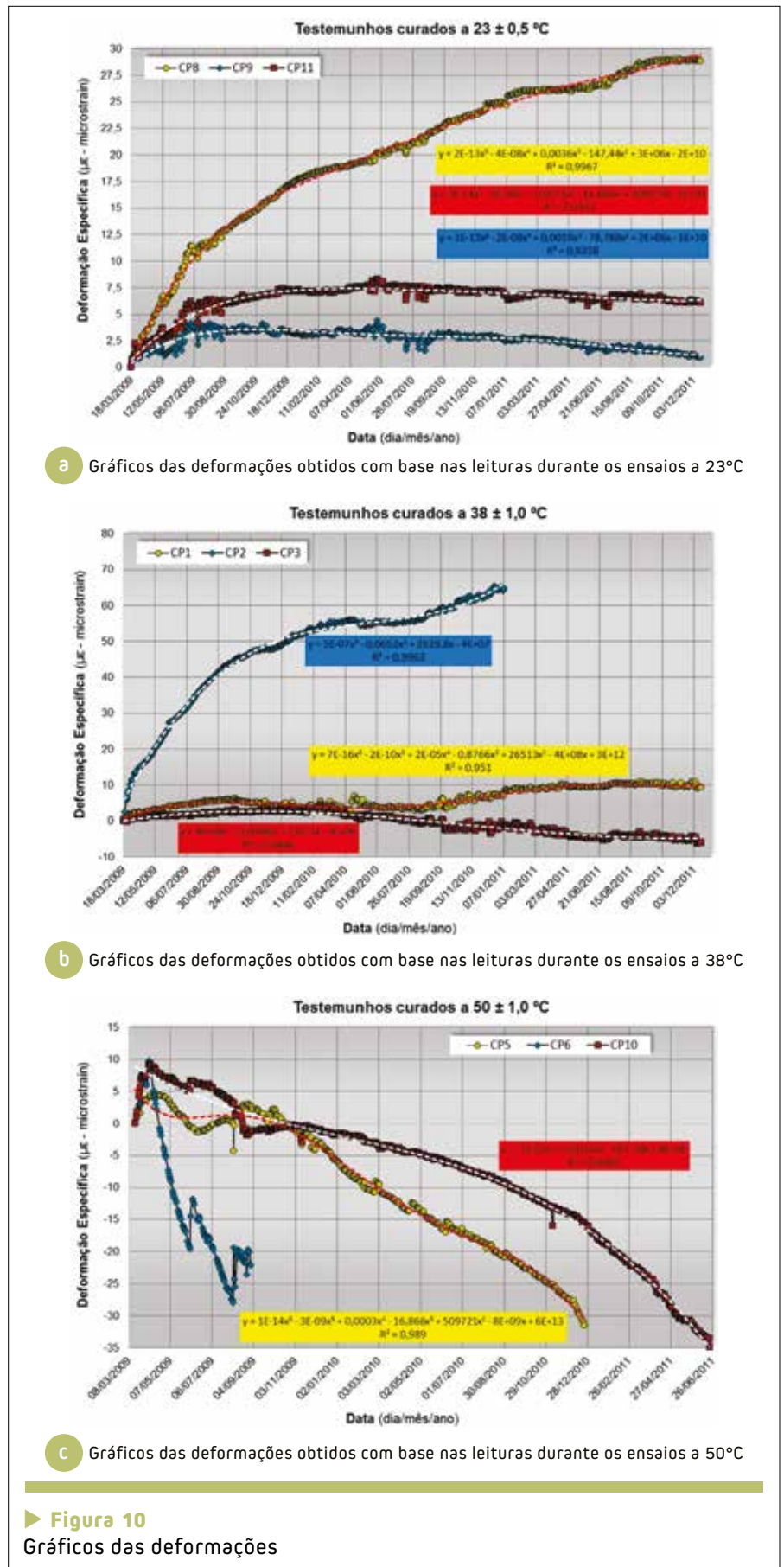
Os ensaios foram realizados usando uma amostra de 3 corpos de prova extraídos aleatoriamente da ponte (sem uma preferência que induzisse a uma determinada preponderância). As condições ambientais de armazenamento estão apresentadas na Figura 8.

Os ensaios (Figura 9) iniciaram-se em março/2009, sendo que as leituras e aquisições de dados se estenderam até o final de 2011, em cerca de 900 dias de duração. As leituras e observações foram realizadas sistematicamente permitindo obter os gráficos da Figura 10.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS E ANÁLISES

A taxa de expansão à temperatura de 23°C (próxima à temperatura ambiente da obra) foi de aproximadamente 20 microstrains/ano, ou seja, muito inferior àquela inicialmente adotada nos modelos matemáticos (50 microstrains/ano). Estes resultados confirmaram a redução da taxa de expansões futuras.

O critério de aleatoriedade na seleção de amostras, adotado no início do experimento (sem a devida caracterização da zona, peça estrutural,



composição química e proporção de cimento/agregados usada durante a execução da obra), resultou em taxas de expansão mais baixas quando expostas a temperaturas mais elevadas. Tal fato levou a se adotar uma curva de interpolações dos pontos de máximos das curvas de expansão, levando a um maior empenho estatístico-matemático, admitindo-se que, a partir dessas expansões máximas, não serão medidos valores superiores ao longo do tempo de exposição.

É importante levar em consideração que no desenvolvimento de um método padrão é imprescindível que se minimize a aleatoriedade no critério de amostragem.

Em 2011, ficou provado que a expansão de todas as amostras expostas a diferentes temperaturas permitiu a caracterização do nível de estabilização (minimizando a taxa de expansão). Em função disso, realizou-se uma análise físico-matemática, de modo a complementar os modelos de regressão matemática e determinar o tempo esperado para que a expansão da estrutura da ponte cesse.

5. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS DOS TESTEMUNHOS DE CONCRETO

Considerando que o procedimento utilizado para a realização dos ensaios é inovador, não tendo ainda sido padronizado em Norma Técnica, o objetivo foi fazer a interpretação dos resultados obtidos nos ensaios, baseada em uma análise de regressão que mostrasse a tendência do comportamento expansivo à condição de temperatura média de 21° C.

Os valores de deformação unitária, obtidos das amostras, indicaram um crescimento desacelerado numa primeira fase, seguida por uma estabilização e posterior queda. Um possível modelo para representar o comportamento descrito é o da curva de Gauss, a exemplo do usado para representar a hidratação de sistemas cimentícios conforme Riding, Kyle A. et al (2012).

O modelo assumido foi dado pela equação:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cdot e^{-\frac{(t-t')^2}{2a^2}} \quad [1]$$

Nessa equação,

“ ε ” é a deformação unitária calculada por regressão;

“ ε_{\max} ” é a máxima deformação unitária calculada;

“ e ” é o número de Euler, igual a 2,71828;

“ t ” é o tempo decorrido até se obter a deformação unitária considerada;

“ t' ” é o tempo decorrido até se obter a deformação unitária máxima.

Uma vez encontrada a função que seja representativa do comportamento observado, seria possível estimar a duração do fenômeno para diversos cenários, tanto para a temperatura média da região de 22,3°C quanto para temperaturas superiores ou inferiores.

O procedimento apresentado aponta a ocorrência de erro em cerca de 10% dos casos. Essa expectativa pode se alterar ligeiramente em função da dispersão de resultados, uma vez que os testemunhos foram extraídos de regiões da estrutura submetidas a diferentes estados de tensão normal de compressão, níveis de insolação (que afetam a temperatura) e grau de umidade.

A equação foi, então, aplicada ao caso estudado, para as temperaturas de ensaio de 23°C, 38°C e 50°C. Embora tenha ocorrido certa dispersão, ocasionada pela complexidade da realização dos ensaios, em condições de temperatura controlada, ao longo de muitos meses, notou-se a ocorrência de diversos ciclos de expansão em cada corpo de prova. Esse comportamento é compatível com as características da reação álcali-agregado, uma vez que a formação de fissuras aumenta a facilidade do ataque e altera qualitativamente as expansões.

De acordo com o que mostraram os resultados dos ensaios, e sendo coerente com a metodologia proposta, conclui-se que as taxas de expansão apresentam tendência de redução. Supondo temperatura constante de 21°C na região onde a ponte foi construída, a estimativa do valor máximo das deformações por expansão foi obtido dentro de 720 dias, após o início dos ensaios.

O tempo calculado assemelhou-se ao observado nas medições durante a monitoração da estrutura.

6. SUGESTÃO DE METODOLOGIA DE ENSAIO

Tendo em vista as dificuldades verificadas em se estimar o tempo de estabilização das taxas de expansão decorrentes da RAA e os custos de manutenção satisfatória das estruturas, os autores propuseram, baseados nos resultados obtidos, uma metodologia para avaliações do tempo como se segue.

6.1 Objetivo

Este procedimento contempla a

determinação da variação de comprimento de corpos de prova de argamassas e/ou concreto, extraídos de elementos e/ou peças estruturais, expostos em determinadas condições controladas de temperatura e umidade, em laboratório, ao longo de um período de exposição. As determinações de variação volumétrica aqui referidas não dizem respeito às que são produzidas por forças ou pressões externas aplicadas aos corpos de prova. As medições aqui referidas dizem respeito aos efeitos expansivos decorrentes de reações autógenas dos componentes de argamassas e/ou concretos moldados com cimentos hidráulicos e agregados rochosos, mais especificamente às expansões oriundas das reações do tipo álcali-agregado.

6.2 Terminologia

Nos procedimentos aqui sugeridos, a expansão remanescente deve ser entendida como a expansão, decorrente da reação álcali-agregado, que ocorrer após a extração e preparação dos testemunhos, até que as medições se tornem estatisticamente assintóticas ao longo do tempo.

6.3 Significado e uso

As medições das variações de comprimentos permitirão avaliar o potencial de expansão que poderá ocorrer nas peças/elementos estruturais representadas pelos corpos de provas obtidos através dos testemunhos extraídos. As medições deverão ser feitas nos corpos de prova armazenados em quatro temperaturas distintas. Isto permitirá que se cor-

► Tabela 1 – Características de corpos de prova e ambientes para o armazenamento durante os ensaios

Condições de cura	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Número de corpos de prova	Dimensões
A (Normal)	23 + 0.5	> 75	3	Diâmetro > 3* T.M.A Tamanho máximo do agregado
B – 38 °C	38 + 1.0			
C – 50 °C	50 + 1.0		2	Comprimento – Altura > 2* Diâmetros
D – 60 °C	60 + 1.0			

relacione as condições de exposição acelerada com as medições efetuadas em corpos de prova estocados à temperatura ambiente sob a condição úmida. Os corpos de prova serão estocados em ambiente de temperatura e umidade controlada, sem, entretanto, estarem imersos em água, como indicado na Tabela 1.

6.4 Aparelhos e instrumentos

Deverão ser utilizados recipientes tanques ou depósitos herméticos, que garantam a exposição requerida. É recomendado que se utilizem pares de medidores, fixados externamente e diametralmente opostos a cada corpo de prova, do tipo “strain-meter”, com capacidade de leitura contínua e campo de medição superior a 500microstrains (mínima leitura < 3microstrains). Deverão ser utilizados anéis metálicos, não afetados por corrosão, com diâmetro interno de 160 mm, diâmetro externo adequado para permitir a fixação dos extensômetros e espessura suficiente para dar rigidez à fixação por meio de parafusos metálicos. O contato do parafuso com o a superfície do corpo de prova não poderá ser por puncionamento (para eliminar risco

de que uma eventual ocorrência de fissuras, durante o ensaio, danifique o ponto de apoio), e sim por delgada sapata de apoio. Deverá, preferivelmente, ser adotada uma caixa de terminais de leitura para o acoplamento dos cabos de medição ao sistema de leitura de deformações e temperatura, que faça leituras compatíveis com as capacidades de medição dos instrumentos adotados. A umidade dos tanques deverá ser controlada de modo a atender os limites estabelecidos.

6.5 Corpos de prova

Corpos de prova, de dimensões estabelecidas (Tabela 1), deverão ser extraídos da estrutura, através do corte com serra de disco, com topo e base ortogonais ao eixo do cilindro.

6.6 Condições de armazenamento

Após o preparo dos corpos de prova, instalação dos medidores e leituras iniciais, eles deverão ser armazenados nos respectivos recipientes indicados. A solução de 1N NaOH deverá ser despejada no fundo do tanque.

6.7 Procedimento para o ensaio

Logo após o preparo, identificação e instalação do sistema de fixação dos medidores, os corpos de prova deverão ser mantidos em ambiente climatizado de temperatura constante por volta de $23 \pm 0,5^\circ\text{C}$, por 48 horas. Após isso, imediatamente, far-se-á uma leitura de deformação e temperatura. Os corpos de prova serão colocados, após essa leitura, em um ambiente à temperatura de $38 \pm 1,0^\circ\text{C}$ por outras 48 horas. Em seguida far-se-á uma outra leitura de deformação e temperatura a cada par de medidores diametralmente instalados em cada corpo de prova.

Os dados de deformações e temperaturas serão comparados com a adoção de um coeficiente de expansão térmica médio de concretos com agregados de mineralogia análoga ao dos usados nos concretos em avaliação. Caso as leituras não mostrem um comportamento análogo ao admitido, para esse parâmetro de coeficiente de expansão térmica, verificar o sistema de fixação e os apoios.

Após a verificação, armazenar os corpos de prova em quantidades e nos ambientes indicados anteriormente. Efetuar as leituras

iniciais de umidade, temperatura e deformação.

A cada dia, durante 5 dias seguidos, efetuar leituras de umidade, temperatura e deformação. Caso não seja adotado um registrador contínuo, as leituras deverão ser registradas em impresso próprio, contendo as identificações de cada corpo de prova, condições de armazenamento, exposição, data, hora, operador e as respectivas leituras de umidade, temperatura e deformação.

Comparar as leituras dos 5 primeiros dias com as correspondentes verificações indicadas anteriormente. Caso sejam verificadas anomalias, repetir os procedimentos. Caso não ocorram anomalias, efetuar leituras espaçadas a cada semana, durante os 3 primeiros meses, a cada quinzena, nos 6 meses subsequentes, e mensais no período restante.

As leituras poderão ser finalizadas após a verificação de estabilização das deformações (compatíveis com a mínima leitura dos extensômetros), e/ou a orientação do responsável técnico pelos ensaios.


Verificar sistematicamente as condições indicadas de temperatura e umidade. Estabelecer gráficos de acompanhamento para avaliar os gradientes de expansão e a estabilização das deformações. Ao final

de cada ensaio, para cada corpo de prova, realizar ensaio para determinação do módulo de elasticidade à compressão, considerando uma tensão de ruptura de aproximadamente 30MPa. Com parte dos fragmentos dos corpos de prova ensaiados, realizar ensaios de microscopia e petrografia, de tal modo a caracterizar os estados de reações álcali-agregado e eventuais ataques por sulfatos. Com outra parte dos fragmentos dos corpos de prova realizar ensaios para determinação da massa específica e absorção.

7. COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Este artigo apresentou a sugestão para uma nova rotina de ensaios para avaliar o fenômeno expansivo de estruturas de concreto devido à reação álcali-agregado.

A base do método proposto considera os efeitos da expansão em condições diferentes de temperatura e umidade, estabelecendo uma regressão até que se obtenha os resultados condizentes com as condições ambientais ao qual a estrutura estudada está exposta.

Esta metodologia foi baseada em dados obtidos através de testes realizados em testemunhos de concreto extraídos da ponte do Mar Pequeno/SP e evidenciou bons resultados. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] American Society for Testing and Materials. ASTM C 1260-07, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), West Conshohocken, Pennsylvania, 2010
- [02] FOLLIARD, K. Recomendações, ECOVIAS, 2007
- [03] ANDRIOLO, F. Relatório de Viagem aos Estados Unidos, ECOVIAS, Dezembro 2007
- [04] CESP/ECOVIAS. Relatórios de Ensaio de Expansão, Período 2009 a 2011
- [05] IEME/ECOVIAS. Relatórios de Inspeções e Monitoração das Estruturas, Período 2007 a 2011
- [06] BERNARDES, H. M. Relatório de Análise Físico-Matemática, ECOVIAS, 2012
- [07] RIDING, KYLE A.; POOLE, JONATHAN L.; FOLLIARD, KEVIN J.; JUENGER, MARIA C. G.; SCHINDLER, ANTON K. Modeling Hydration of Cementitious Systems, ACI Materials Journal, Volume: 109, Issue: 2, March-April 2012, pp: 225-234.



Como saber qual tipo de argamassa colante usar em sua reforma?

NICOLAUS MUELLER - GERENTE-EXECUTIVO

MC NO BRASIL

Quando compramos revestimentos para decorar pisos em geral, fachadas ou até mesmo cozinhas e banheiros, sempre surge a dúvida de qual tipo de argamassa colante utilizar. Afinal, quando uma obra é grande, preferimos comprar todos os produtos de uma só vez, até para ter descontos e deixar a equipe de obra munida de material para trabalhar. E muitas vezes o grande erro da maioria das pessoas é comprar o mesmo tipo de argamassa colante para todos os revestimentos adquiridos, sendo que eles são de materiais distintos e serão utilizados em lugares diferentes.

Para não haver desperdício e até mesmo retrabalho no futuro é necessário tomar alguns cuidados. O primeiro passo é identificar se o revestimento será utilizado em um ambiente interno ou um ambiente externo. Depois, verificar o tipo de revestimento. Ou seja, se é cerâmica, porcelanato, mármore, pastilha etc. Também é importante saber se será utilizado no piso ou na parede e se esta região sofrerá intempéries das estações climáticas ou não. Todas estas variáveis são relevantes na hora de decidir qual argamassa colante escolher.

A argamassa colante industrializada é composta por cimento, agregados

minerais e aditivos químicos, que quando misturada com água torna-se pastosa, plástica e aderente. Temos três modalidades de argamassas. São elas: AC1, AC2 e AC3.

Nas áreas internas, quando se usa cerâmica, que possui uma base avermelhada com poros mais absorventes, utilizam-se argamassas do tipo AC1, que possuem aderência mecânica. Já, quando usamos porcelanatos de todos os tipos, mármore ou pedras, tanto nas áreas externas quanto internas, o ideal é utilizar argamassas colantes do tipo AC2 e AC3, que possuem aderência química e são mais sofisticadas, pois contam com adesivo em pó de PVA

para que a aderência seja mais efetiva, já que os poros destes revestimentos são menos absorventes.

Por ser mais flexível, esta argamassa acompanha a movimentação das peças, sejam das paredes ou dos pisos, que possam a vir ocorrer devido a movimentação da estrutura ou ações externas, principalmente pela oscilação de temperatura do tempo.

Uma das dicas que eu dou é que para revestimentos, cuja peça, tenha metragem acima de 30x30, é necessário que seja feita uma dupla colagem. Ou seja, deve-se colocar a argamassa colante tanto no substrato quanto no revestimento para a melhor aderência.





Acrílico, pois já vem pronto, facilitando a aplicação.

Ademais, o rejunte Acrílico têm um acabamento muito liso, cores mais duradoras, evita sujeira e é mais impermeável que o rejuntamento convencional. O produto pode ser utilizado para quase todos os tipos de revestimentos.

Atualmente, outra opção bastante aplicada, tanto nas áreas externas quanto internas, são as pastilhas. Elas podem ser de cerâmica, de porcelana ou de vidro. Há muitas dúvidas na colocação das pastilhas. O que precisamos nos atentar é que a argamassa deve ser colocada aos poucos, porque ao secar ela inibe a aderência da pastilha, a qual pode se descolar com o tempo.

O ideal é utilizar AC2 para áreas internas e AC3 para áreas externas e o interessante é que a argamassa já serve como cola e rejunte ao mesmo tempo. Não há a necessidade de utilizar rejuntas posteriormente.

Tomando estes cuidados e escolhendo a argamassa colante correta para cada revestimento, você terá bons resultados e uma durabilidade maior em sua obra! 🛠️

Outra dica é respeitar o chamado “tempo em aberto” na colocação dos revestimentos, ou seja, se trata do tempo que você tem de respeitar após aplicação da argamassa no substrato para inserir os pisos ou azulejos. Especialmente em dias quentes e secos, em áreas externas ou substratos absorventes, este tempo pode ser reduzido para 5-10 minutos.

E, se esperarmos mais do que este tempo, a argamassa já estará seca em excesso e quando inserirmos o piso

ou azulejo não teremos mais cobertura suficiente no verso dos revestimentos e os materiais podem descolar. Por isso, é sempre recomendado espalhar a argamassa em uma metragem pequena e inserir o piso imediatamente.

Após a colocação dos revestimentos com a argamassa colante, deve-se esperar secar de dois a três dias para, então, inserir o rejunte. Atualmente, existem diversas cores para acompanhar os revestimentos escolhidos. Eu recomendo a utilização do rejunte

PALESTRAS GRATUITAS NA MC

○ Ciclo de Palestras de cunho técnico e com parte prática acontece no Centro de Treinamento da MC, em Vargem Grande Paulista (SP) e na filial do Nordeste, em Vitória de Santo Antão (PE). No primeiro semestre, as palestras tiveram a participação de 600 profissionais.

Para participar, os interessados devem ser inscrever no site: www.mc-bauchemie.com.br/noticias/calendario-ciclo-de-palestras-mc.

Programação

MC - MATRIZ VARGEM GRANDE PAULISTA (SP)

- ▶ 10/08 – Soluções para obras de Edificação
- ▶ 31/08 – Patologia das Estruturas de Concreto e Sistemas de Reparo

- ▶ 21/09 – Revestimentos para Aumento da Durabilidade do Piso de Concreto
- ▶ 19/10 – Tratamento de trincas e fissuras no Concreto
- ▶ 09/11 – Soluções para Indústria de Concreto Pré-Fabricado - Produtividade e Qualidade
- ▶ 23/11 – Impermeabilização de estruturas de Concreto - ETA's, ETE's e Reservatórios

MC - FILIAL VITÓRIA DE SANTO ANTÃO (PE)

- ▶ 16/08 – Sistemas de Injeção - Tratamento de trincas e fissuras no Concreto
- ▶ 14/09 – Revestimentos para Aumento da Durabilidade de Pisos de Concreto (RAD)
- ▶ 10/10 – Patologia das Estruturas de Concreto e Sistemas de Reparo



Modelagem computacional da expansão por RAA

ALFONSO PAPPALARDO JR.

ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
PRESBITERIANA MACKENZIE

RUY MARCELO DE OLIVEIRA PAULETTI

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

THOMAS GARCIA CARMONA

TIAGO GARCIA CARMONA

ANTONIO CARMONA FILHO

CARMONA SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

I. INTRODUÇÃO

Um número de casos noticiados de outras estruturas de concreto armado, além das barragens, afetadas pela Reação Álcali-Agregado (RAA) é crescente. A deterioração induzida pela RAA impacta diretamente os requisitos mínimos exigidos pelas normas, relativos aos aspectos funcionais e operacionais, a perda de capacidade resistente e a durabilidade e seus planos de intervenção.

Desde a década de 80, diversas metodologias têm sido propostas, utilizando-se modelos calibrados baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF), de estruturas afetadas pelas expansões deletérias devidas à RAA. Neste trabalho, apresenta-se uma revisão

de metodologia para a modelagem computacional da RAA e sua aplicação a um caso de grande relevância prática.

I.1 Fatores intervenientes da RAA

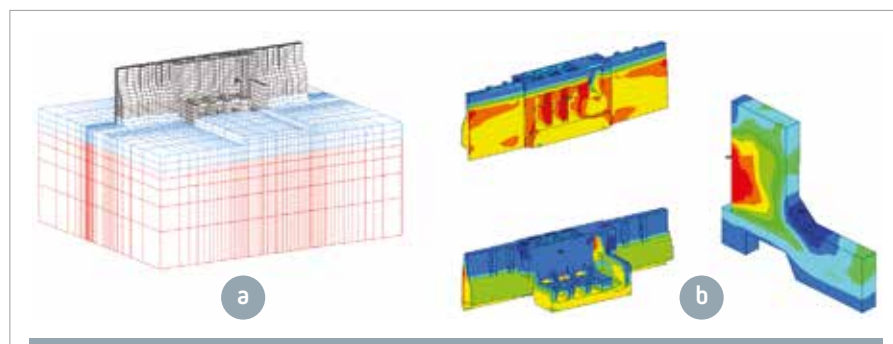
Nas primeiras idades do concreto potencialmente reativo, a RAA produz um gel higroscópico, que expande por absorção de água. Este gel migra para os poros do concreto, até que esses estejam completamente preenchidos. A partir deste ponto, estabelece-se uma significativa pressão osmótica, conduzindo a um quadro de microfissuração intenso em todo o concreto afetado pela RAA. A intensidade, a distribuição espacial e a taxa de expansão da RAA são influenciadas por uma série de fatores:

(i) tipo, quantidade e granulometria do agregado reativo presente no concreto; (ii) a quantidade de álcalis provenientes do cimento e de fontes externas; (iii) grau de umidade do concreto; (iv) distribuição da temperatura; (v) estado triaxial de tensões; e (vi) taxa de armadura nas três direções ortogonais.

2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De um modo geral, a simulação das expansões de estruturas afetadas pela RAA ao longo do tempo, considerando-se todos os fatores de influência, requer procedimentos numéricos para análises não lineares acopladas, fazendo uso de algoritmos incrementais e iterativos. Na década de 90, recursos de supercomputação eram exigidos para a análise não linear acoplada de um modelo de 300.000 graus de liberdade (estrutura e camadas de solo), mostrado na Figura 1. Tais recursos viabilizaram a análise deste modelo para a verificação dos efeitos causados pela RAA, varrendo um período de 60 anos, em um tempo de processamento de três horas [PAPPALARDO, 1999]. Atualmente, pode-se contar com o uso de computadores pessoais que perfazem a mesma tarefa em um tempo inferior a três horas.











Os principais fatores que contribuíram para os avanços observados nas



► **Figura 1**

Barragem Billings-Pedras (a) modelo de elementos finitos com estrutura de concreto e múltiplas camadas de solo estratificado (b) deformações por RAA após 60 anos nas faces montante e jusante e nas paredes do contraforte [PAPPALARDO JR., 1999]

▶ Tabela 1 – Programas comerciais de elementos finitos recomendados para a simulação da RAA

Programa comercial	Multifísico	Análise de transporte de massa	Modelo concreto armado não linear	Fluência e retração	Mecânica fraturamento	Análise termo-estrutural	Sub-rotina definida pelo usuário	Desenvolvedor (país)
ABAQUS	X	X	X			X	X	 Dassault Systemes (França)
ADINA	X	X	X	X		X	X	 ADINA R&D, Inc (Massachusetts, EUA)
ANSYS	X	X	X	X	X	X	X	 ANSYS, Inc. (Pittsburgh, EUA)
ATENA	X	X	X	X	X	X	X	 Cervenka Consulting (Prague, República Checa)
COMSOL	X	X	X	X	X	X	X	 COMSOL Group (Stockholm, Suécia)
DIANA		X	X	X	X	X	X	 TNO DIANA BV (Delft, Holanda)
GTSTRUDL	X	X	X	X	X	X	X	 INTEGRAPH System (EUA)
LUSAS		X	X	X		X		 UK Software (London, Reino Unido)
NASTRAN	X	X	X	X	X	X	X	 MacNeal-Schwendler Corporation (EUA)
SAP2000				X		X	X	 CSI Computers and Structures Inc. (EUA)

metodologias de simulação matemática da RAA, nos últimos vinte anos, estão relacionados à alta evolução da Ciência da Computação e ao rápido crescimento da Indústria da Informática. Estes dois fatores permitiram a produção de computadores pessoais com alta capacidade de processamento e de armazenamento a um baixo custo de aquisição. Simultaneamente, as empresas desenvolvedoras de programas comerciais de elementos finitos criaram recursos computacionais para a simulação da RAA com o uso de interfaces gráficas avançadas. A Tabela 1 lista os programas comerciais recomendados para a simulação das expansões devidas à RAA que abrangem esses recursos.

2.1 Aspectos gerais

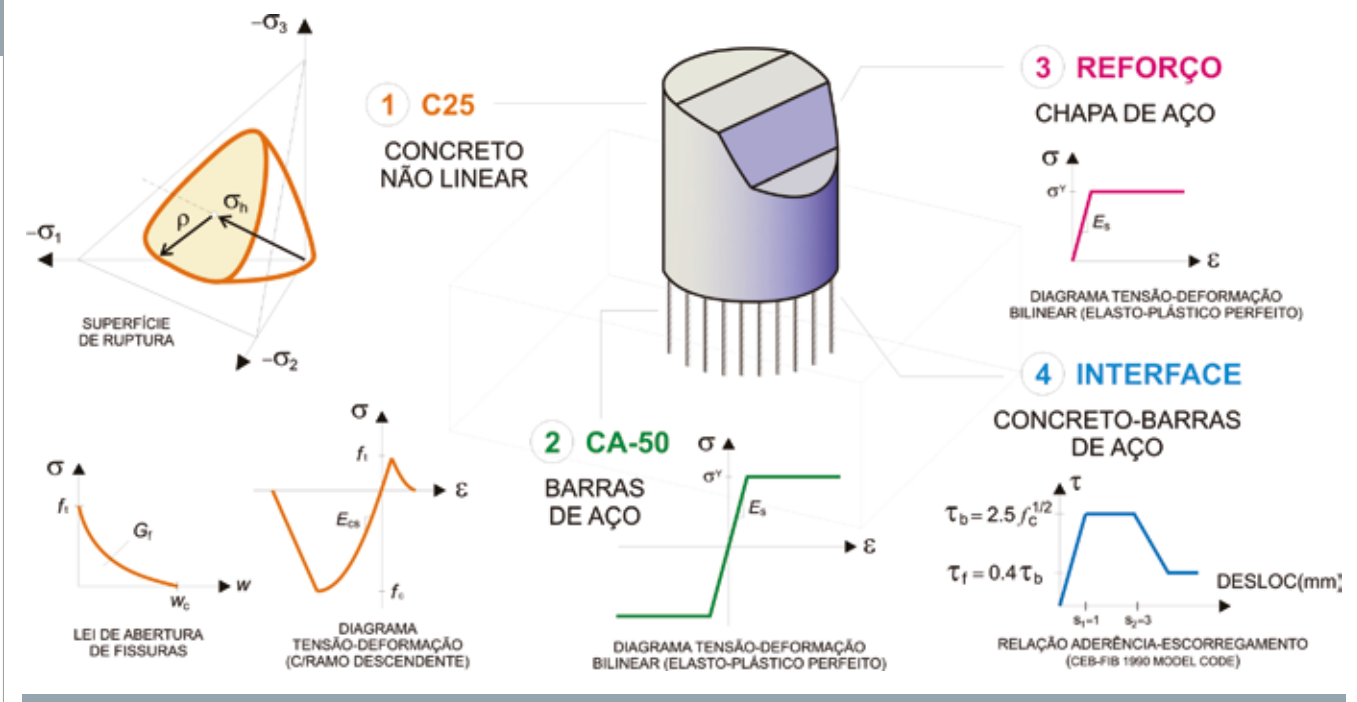
A construção de modelos de elementos finitos, para avaliação dos efeitos estruturais de longa duração devidos à RAA, faz-se necessária antes

e depois da instalação do sistema de monitoramento (LÉGER,1995). Antes da instalação do sistema de monitoramento, um modelo de elementos finitos permite: (i) explicar os principais efeitos patológicos observados por meio de inspeções visuais; (ii) orientar o tipo de instrumentos de monitoramento instalados e sua disposição espacial. Depois da instalação do sistema de monitoramento, o modelo é necessário para: (iii) interpretar os dados de campo; (iv) prever os efeitos da RAA ao longo do tempo; (v) especificar os serviços de manutenção e a sua periodicidade; (vi) avaliar a viabilidade técnica-econômica dos métodos de reabilitação considerados; (vii) verificar a inter-relação das técnicas de reabilitação estrutural aplicadas em conjunto; (viii) estimar o aumento da vida útil diante das medidas remediadoras adotadas; (ix) atender os requisitos de qualidade, relativos à segurança e estabilidade da construção em diferentes cenários de carga, dentre outros.

2.2 Modelos constitutivos

A modelagem das estruturas de concreto armado requer uma representação fiel das leis constitutivas do concreto e do aço, assim como das leis de aderência-escorregamento na zona de interface dos materiais. O critério de ruptura de Willam-Warnke tem sido utilizado para o concreto na verificação da capacidade resistente no estado multiaxial de tensões e na previsão de ocorrência dos mecanismos de falha. Para a modelagem das armaduras utiliza-se o diagrama tensão-deformação bilinear, considerando-se um material elastoplástico perfeito, com critério de plastificação de Von Mises. As mesmas considerações são utilizadas para a chapa metálica de reforço. Podem ser utilizadas relações de aderência-escorregamento multilíneas na zona de interface aço-concreto, baseadas nos códigos modelos ou teorias consagradas. Os modelos constitutivos dos materiais, incluindo, o comportamento





► **Figura 2**
Caracterização de parâmetros dos materiais considerados no modelo matemático

nas suas interfaces é esquematizado na Figura 2.

A equação constitutiva para o estado triplo de tensões com acoplamento termo-estrutural de materiais elásticos-lineares de comportamento ortotrópico, é definida por:

$$\varepsilon = C \cdot \sigma + \alpha \cdot \Delta T \quad [1]$$

onde $\varepsilon = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}\}$, $\sigma = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}\}$, $\alpha = \{\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, 0, 0, 0\}$ são as deformações (lineares e distorções), as tensões (normais e tangenciais) e os coeficientes de expansão térmica, respectivamente. As tensões e a matriz de rigidez da estrutura, dada por $D = C^{-1}$, podem ser decompostas nas parcelas $s = s_c + s_r + s_s$ e $D = D_c + D_r + D_s$, relativas ao concreto, armaduras e chapas de reforço. Desse modo, pode-se acessar os níveis de tensão e de deformação em cada material.

2.3 Modelo constitutivo para o concreto afetado pela RAA

A expansão por RAA é significativa-

mente influenciada pelo estado triaxial de tensões. Segundo o modelo adaptado de Charwood (LÉGER, 1995), a influência do estado de tensão na expansão por RAA pode ser representada por:

$$\begin{cases} \varepsilon_g = 0 & \text{para } \sigma_i \geq f_t^{ef} \\ \varepsilon_g = \varepsilon_u & \text{para } \sigma_U \leq \sigma_i < f_t^{ef} \\ \varepsilon_g = \varepsilon_u - K \cdot \log_{10}(\sigma_i / \sigma_U) & \text{para } \sigma_L \leq \sigma_i \leq \sigma_U \\ \varepsilon_g = 0 & \text{para } \sigma_i < \sigma_L \end{cases} \quad [2]$$

Onde:

ε_g é a taxa de expansão por RAA de um elemento parcialmente confinado (em $\mu\text{e}/\text{ano}$ –“microdeformação/ano”);

ε_u é a taxa de expansão por RAA de um elemento desconfinado (expansão livre)

σ_i é a tensão principal na direção analisada;

σ_U é o limite superior de tensão, acima do qual o efeito do confinamento é inócuo em termos de expansão por RAA;

σ_L é o limite inferior de tensão, abaixo do qual a expansão por RAA é totalmente inibida;

f_t^{ef} é a resistência à tração efetiva calculada, por exemplo, pelo critério de Willan-Warnke.

Quando a resistência à tração for atingida, inicia-se o processo de microfissuração interrompendo a expansão por RAA. A Figura 3 apresenta o modelo teórico utilizado neste trabalho, que considera a dependência do estado triaxial de tensão com as expansões ortogonais por RAA, conforme descrito anteriormente. De acordo com esta metodologia, a expansão química por RAA pode ser considerada análoga à expansão térmica, a partir da calibração dos coeficientes de expansão térmica equivalentes com os dados experimentais. Considerando-se, arbitrariamente, a variação da temperatura e o incremento de tempo unitários, pode-se escrever:

$$\varepsilon_{g,i}^j = \alpha \cdot i \quad [3]$$

Sendo:

$i = x, y, z$ (direção analisada);

$j = 1, 2, 3, \dots$ (tempo)

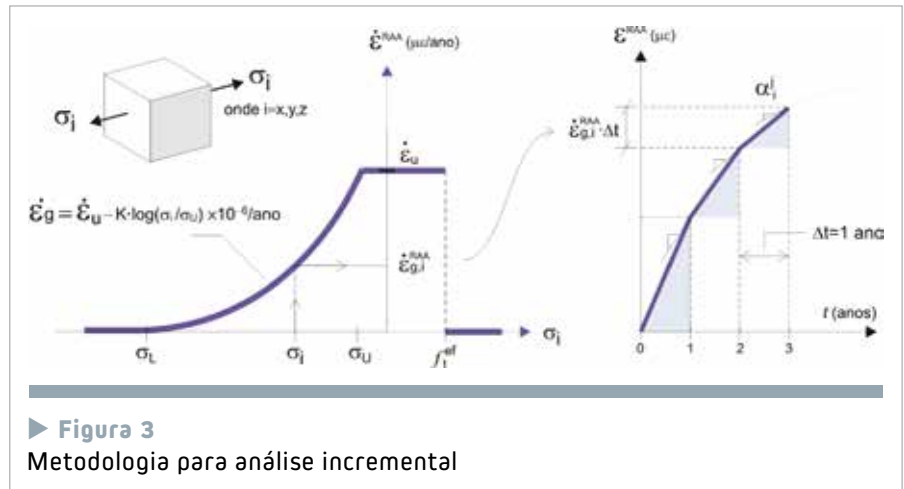
α , o coeficiente de expansão térmica linear para comportamento ortotrópico.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição geral

O caso de obra selecionado é referente aos pilares de concreto armado de uma estrutura metálica de cobertura de um ginásio poliesportivo em Cuiabá, concluído em 2007. Foram observadas fissuras nos pilares, logo nos primeiros meses após a construção. Os pilares têm 3,40 m de diâmetro e 3,90 m de altura a partir dos blocos de apoio, conforme mostrado na Figura 4a. A armação longitudinal é composta por 56 barras de 20 mm, com estribos de 8 mm a cada 10 cm. A resistência à compressão característica especificada é de 25 MPa. A fundação dos pilares é constituída de um bloco de coroamento com 6,20 m x 6,20 m x 2,10 m (altura), sobre quatro tubulões de 70 cm de fuste e 150 cm de base. Adota-se a espessura de 5 mm para as chapas de reforço.

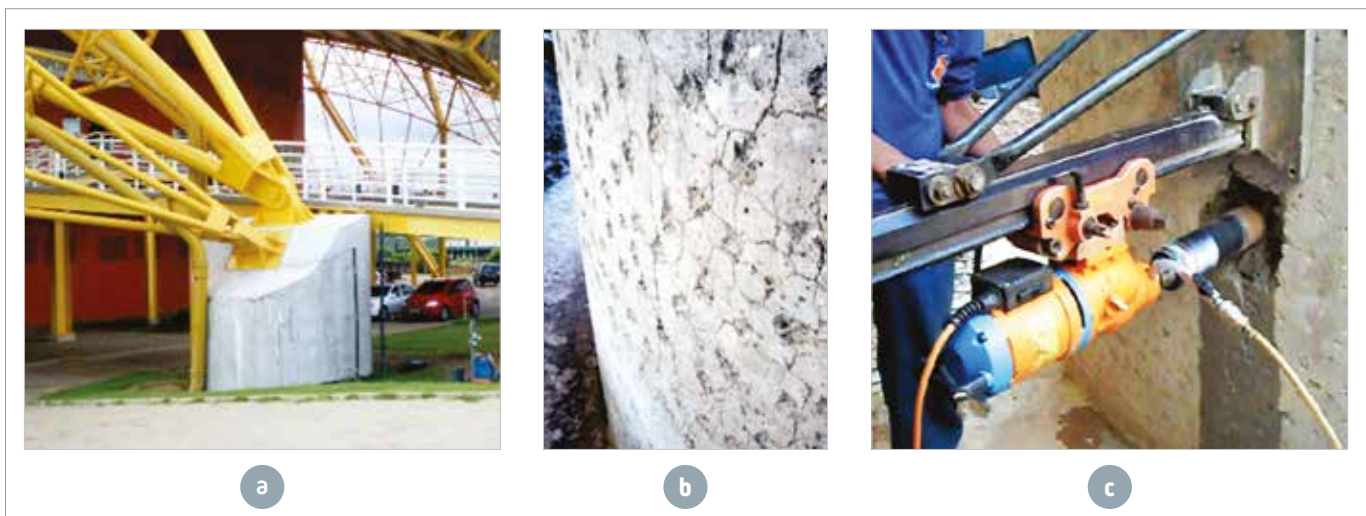
Devido ao estado de fissuração avançado, conforme observado na Figura 4b, foi levantada a suspeita da ocorrência de RAA. Para se caracterizar a composição



do material branco depositado na superfície foram utilizadas as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). Esse estudo revelou a existência de etringita com certa abundância, que produziu a reação expansiva por formação de etringita secundária.

Dada a suspeita deste outro tipo de reação, decidiu-se realizar ensaios adicionais para a identificação da RAA. Foram extraídos dois testemunhos (Figura 4c) para análises preliminares da reatividade, com o acompanhamento de suas expansões ao longo do tem-

po. Os procedimentos dos ensaios de expansibilidade utilizados tendo como base as normas NBR 15577-4 (ABNT, 2008a) e NBR 15577-6 (ABNT, 2008b), prescrevem dois tipos de exposição, um acelerado, para comparação com os limites aceitáveis, e outro normal, para simular as condições de exposição no local. Os resultados apontados pelos dois ensaios revelaram valores superiores aos limites práticos, levando-se à conclusão que a expansão ocorrida pode ser considerada elevada. De posse dos resultados de expansibilidade, ficou clara a existência de





a



b



c

► Figura 5

(a) Método de reforço por encamisamento metálico do pilar; (b) Sistema pneumático para injeção de resina epóxi; (c) Extensômetros elétricos aderidos na chapa de reforço

reação de expansão, seja ela decorrente da RAA, seja por formação de etringita secundária, ou ambas.

Levando-se em conta o quadro de fissuração avançado e os resultados dos ensaios realizados, julgou-se por bem realizar um reforço com chapas de aço (Figura 5a) aderidas com injeção de resina epóxi em toda a altura dos pilares (Figura 5b). Com o objetivo de avaliar a eventual evolução de tensões nas chapas de reforço foi instalado um sistema de instrumentação, composto por sensores de deformação do tipo extensômetros elétricos

de resistência, para monitoração de tensões (Figura 5c).

3.2 Modelo de elementos finitos

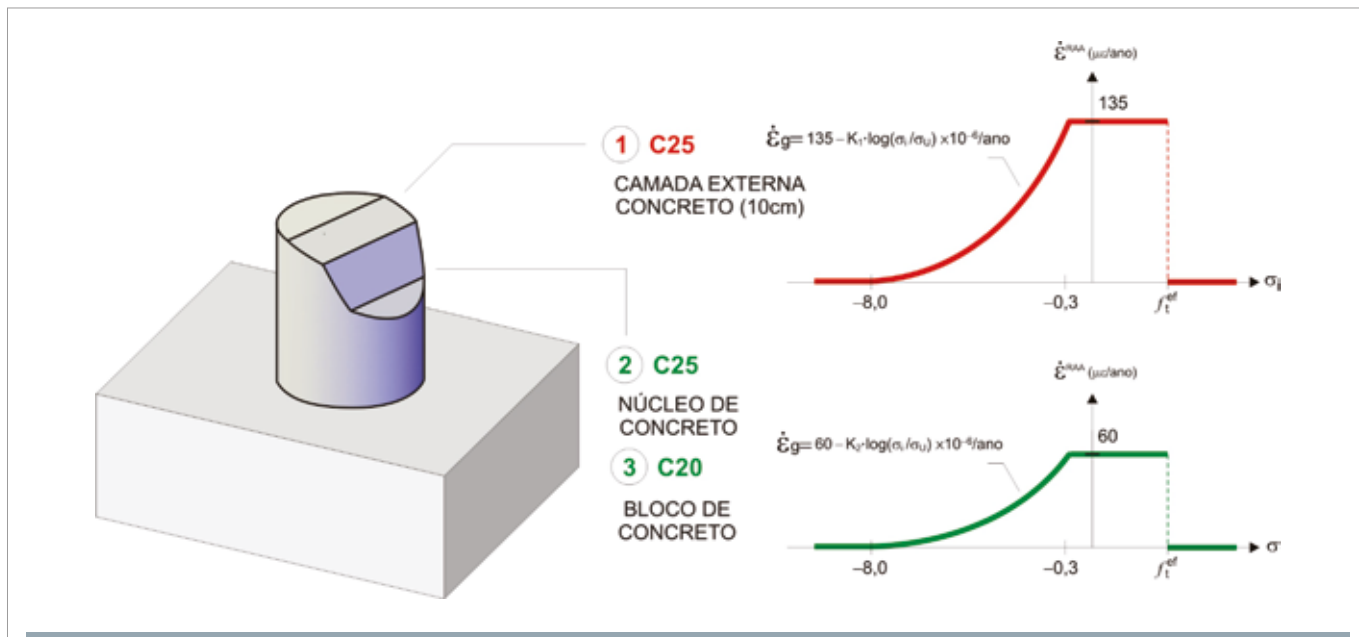
Foi elaborado modelo tridimensional composto por elementos sólidos, de casca e de barra, para a simulação numérica do efeito de expansão do conjunto pilar-fundação. A face inferior do bloco na região dos tubulões é considerada com translações impedidas nas três direções, negligenciando-se os efeitos da interação solo-estrutura. As propriedades mecânicas utilizadas

no modelo matemático são mostradas na Tabela 2. Os cinco parâmetros de resistência para a descrição da superfície de ruptura de Willan-Warke, dados em função da resistência à compressão, são: resistência à tração uniaxial ($f_t=0.1.f_c$), resistência à compressão biaxial ($f_{bc}=1.15.f_c$), resistência à compressão biaxial com tensão de confinamento imposta ($f_{1}=1.73 f_c$) e resistência à compressão uniaxial com tensão de confinamento imposta ($f_{2}=1.45 f_c$) (CHEN, 1988).

De modo a considerar a influência da umidade nas expansões causadas pela RAA, o pilar foi dividido em duas porções: uma camada externa de 10 cm com 100% de umidade, de acordo com os testemunhos de concreto, e um núcleo interno seco. As taxas de deformação livre por RAA (variável ϵ_u), que são parâmetros de calibração do modelo matemático, obtidas para as duas porções, valem, respectivamente, 135 $\mu\epsilon$ /ano e 60 $\mu\epsilon$ /ano (Figura 6). Os valores dos parâmetros de calibração foram obtidos por retroanálise com base nos resultados da instrumentação das tensões na chapa de reforço. Neste estudo, foram negligenciados os efeitos

► Tabela 2 – Propriedades mecânicas dos materiais utilizadas no modelo matemático

Atividades	F_c / Resistência de escoamento f_y	Módulo de elasticidade E (Mpa)	Coefficiente de Poisson ν	Peso específico γ (kN/m ³)
C25 (pilar)	25	23800	0,2	25
C20 (bloco de fundação)	20	21287	0,2	25
CA-50 (armaduras)	500	210000	0,3	78,5
ASTM A-570 (chapas metálicas de reforço)	310	205000	0,3	78,5



► **Figura 6**
Parâmetros de calibração obtidos por retroanálise para a simulação das expansões por RAA do conjunto pilar-fundação em função das tensões devidas ao carregamento e outros mecanismos

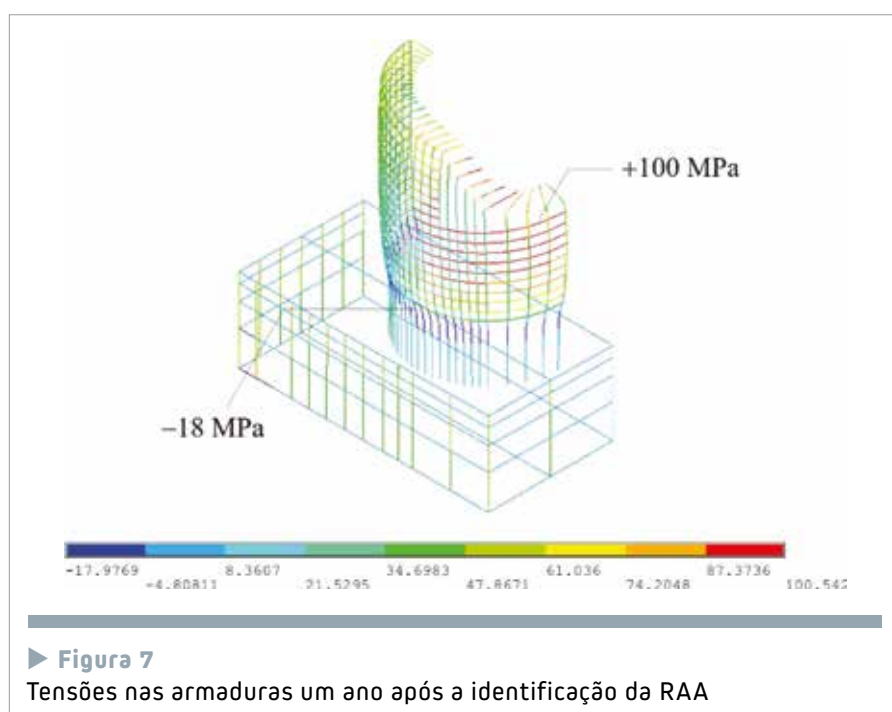
da fluência e retração do concreto e o decaimento da taxa de expansão por RAA ao longo do tempo, devido ao curto período de observação. Assume-se que as interfaces aço-concreto estejam perfeitamente aderidas. Para a análise computacional foram considerados três incrementos de tempo: o primeiro, para a imposição das condições de contorno iniciais do problema; o segundo, para a simulação da expansão por RAA um ano após a sua identificação; o terceiro, para a simulação da expansão por RAA um ano após a instalação das chapas de reforço.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

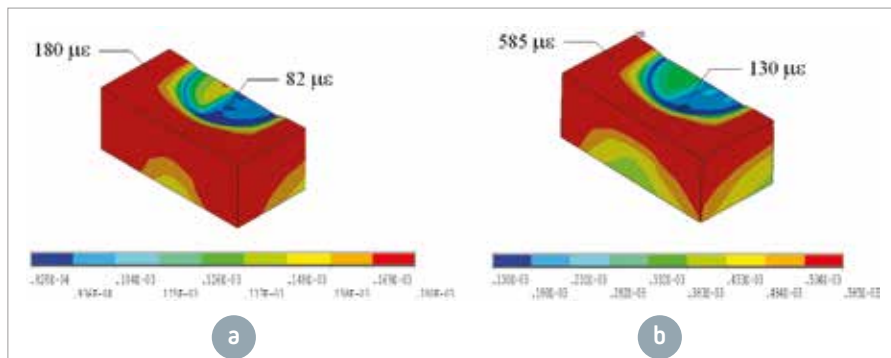
Na Figura 7 observa-se um aumento de tensão nas armaduras circunferenciais em relação ao concreto isento de expansões por RAA. As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, as expansões verticais no bloco e no pilar. Pode-se constatar, mediante a comparação das Figuras 9a e 9b, que a execução do encamisamento metálico

foi eficiente para atenuar as expansões verticais por RAA no corpo do pilar. Ao passo que no topo do pilar não foi observada a mesma eficiência por conta da flexão da chapa. A Figura 10 indica a evolução das tensões principais mínimas s_3 na porção externa do pilar para

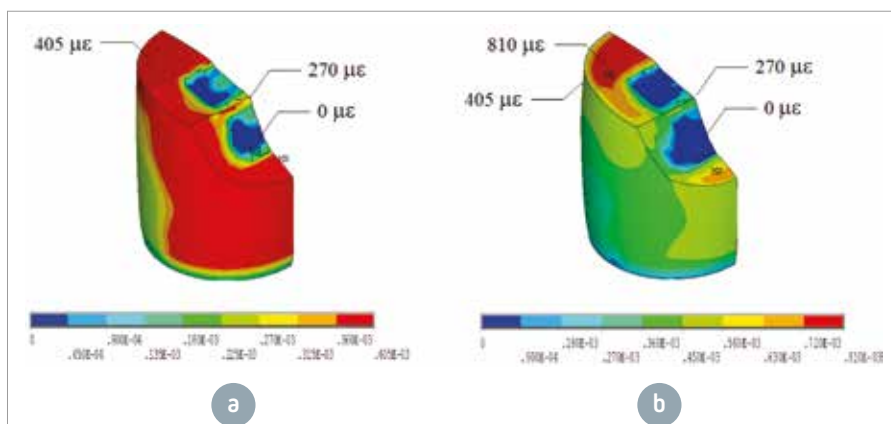
os dois cenários analisados. A Figura 11 apresenta as tensões de Von Mises nas chapas de reforço e a evolução delas nos pontos de instrumentação, cujos resultados extrapolados correspondem aos obtidos na análise numérica. E, finalmente, a Figura 12 exhibe a evolução



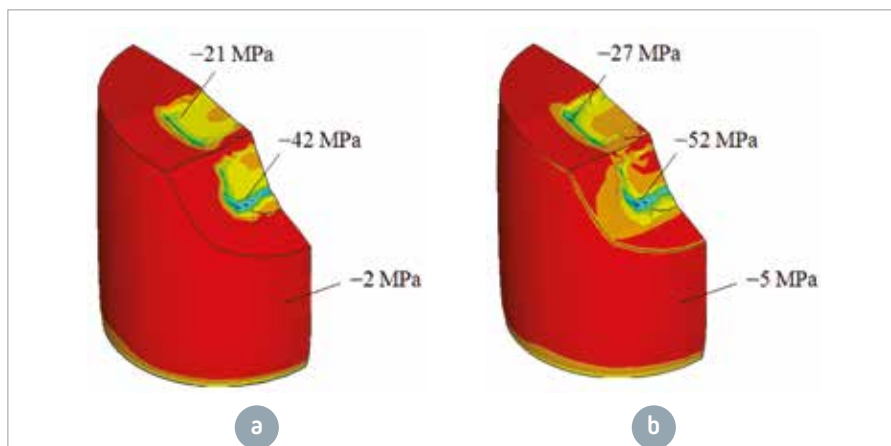
► **Figura 7**
Tensões nas armaduras um ano após a identificação da RAA



► **Figura 8**
Expansão vertical no bloco devida à RAA (a) um ano após a identificação da RAA; (b) um ano após o reforço por encamisamento metálico



► **Figura 9**
Expansão vertical no pilar devida à RAA (a) um ano após a identificação da RAA; (b) um ano após a instalação do reforço por encamisamento metálico



► **Figura 10**
Tensões principais mínimas σ_3 da camada externa do pilar (a) um ano após a identificação da RAA (b) um ano após a instalação do reforço por encamisamento metálico

das expansões verticais devidas à RAA nos elementos de concreto, confirmando-se a eficiência do sistema de reforço no controle das deformações por RAA.

5. CONCLUSÃO

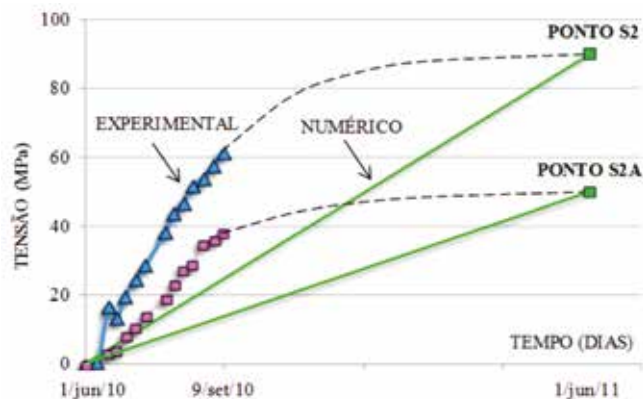
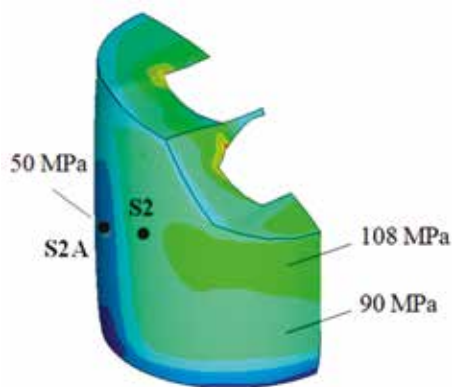
Em termos gerais, pode-se realizar análises de campos acoplados para a interação dos problemas térmico e de transporte de massa com o estrutural. Como os campos de temperatura e de umidade não são afetados pelos deslocamentos estruturais, sugere-se resolver um problema estrutural incremental com influência indireta dos fatores intervenientes.

O modelo matemático não linear proposto permite a descrição dos mecanismos deletérios dos elementos de concreto afetados pela RAA. Os resultados numéricos apresentaram boa correlação com os resultados experimentais, ressaltando a importância da calibração e validação do modelo matemático.

O MEF, desde seus primeiros desenvolvimentos e aplicações na década de 60, consagrou-se como o método mais eficaz para resolver problemas da mecânica do contínuo, e continua nos dias atuais como um método dominante da Mecânica Computacional.

Algoritmos iterativos dotados de poderosas ferramentas de convergência, formulações de métodos sem malha, elementos especiais de múltiplo propósito, critérios de resistência de novos materiais inovadores, algoritmos rápidos de otimização estrutural e eficientes para retroanálise permitirão facilitar a modelagem estrutural do concreto afetado pela RAA.

Particularmente no caso da modelagem da RAA, propriedades mecânicas e químicas adequadas dos materiais afetados por RAA são difíceis de adquirir, os

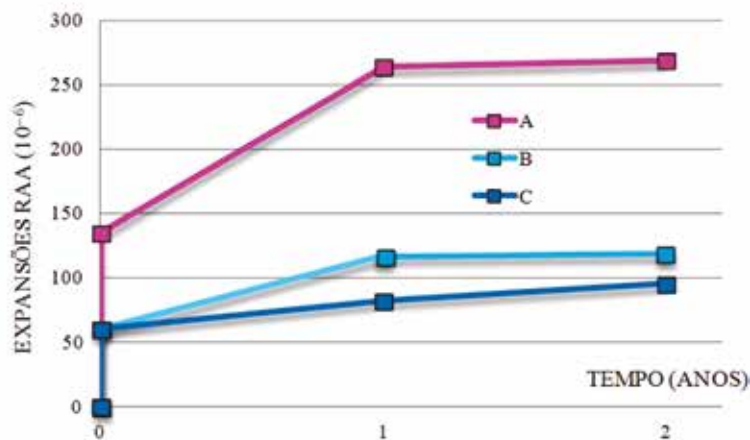
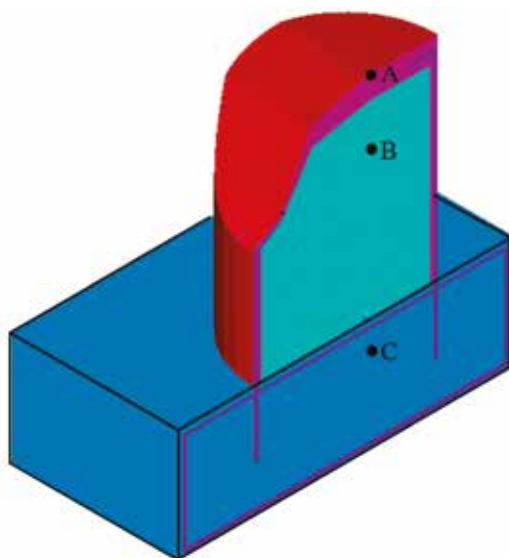


a

b

► **Figura 11**

Tensões normais na chapa de reforço um ano após a execução do encamisamento metálico (a) solução numérica; (b) dados experimentais nos primeiros 3 meses



► **Figura 12**

Evolução das expansões verticais devidas à RAA no período entre a identificação do fenômeno (ano de referência) e um ano após a execução do encamisamento metálico (2 anos)

dados relacionados à fadiga do concreto afetado pela RAA são inexistentes (o que dificulta o desenvolvimento de modelos),

as expansões da RAA devido ao estado de tensão multiaxial envolvem a construção de protótipos e ensaios exaustivos.

Esses são alguns dos desafios a serem enfrentados pelos pesquisadores em RAA nas próximas décadas. ↩

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-4:2008 Agregados - Reatividade Álcali-Agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Versão Corrigida 2:2009. Rio de Janeiro, ABNT, 2008a.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-6:2008 Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Versão Corrigida 1:2008. Rio de Janeiro, ABNT, 2008b.
- [3] CHEN, W.F.; HAN, D.J. (1988) Plasticity for Structural Engineers. Springer-Verlag, New York: pp 606.
- [4] LÉGER, P.; TINAWI, R.; MOUNZER, N. (1995) Numerical Simulation of Concrete Expansion in Concrete Dams Affected by Alkali-Aggregate Reaction: State-of-the-Art. Canadian Journal of Civil Eng., v.22, n.4, p.692-713.
- [5] PAPPALARDO JR., A (1999) Uma Metodologia para a Modelagem Matemática de Barragens de Concreto Afetadas pela RAA. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.



Avaliação de RAA na barragem de Pirapora

MARCELA B.S. SOLLERO – SUPERVISORA OPERACIONAL • LILIAN Q.G. BAIMA – GERENTE OPERACIONAL • HELOISA BOLORINO – DIRETORA

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A.

I. INTRODUÇÃO

A ocorrência de reações expansivas no concreto da Barragem de Pirapora foi diagnosticada na década de 1990, após a ampliação da divulgação desse fenômeno no meio técnico. Os sintomas visuais dessas reações concentram-se principalmente nos vertedouros, nos contrafortes e na região das vigas munhão. A preocupante possibilidade de o avanço do quadro patológico prejudicar o funcionamento das comportas norteou o desenvolvimento de um amplo estudo.

O presente artigo expõe a caracterização do concreto da barragem e as reações expansivas que o afetam, decorrentes da reação álcali-agregado (RAA) e do aporte de sulfatos. A divulgação de técnicas efetivamente aplicadas em casos de estruturas reais, bem como dos resultados obtidos e de sua interpretação, é de grande valia na determinação do curso de ação em situações semelhantes. Dessa forma, objetiva-se não só apresentar o trabalho desenvolvido, mas também expor como alguns dos ensaios amplamente estudados academicamente podem ser utilizados por profissionais da área de Engenharia Civil que diagnosticam estruturas com reações expansivas.

2. INVESTIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO NA BARRAGEM DE PIRAPORA

A Barragem de Pirapora, localizada



► **Figura 1**

Lado jusante (a) e lado montante (b) da barragem de Pirapora

em Pirapora de Bom Jesus, em São Paulo, foi construída em 1956, visando reter as vazões do Rio Juqueri e aproveitá-las para a geração de energia para a Usina Henry Borden, em Cubatão, em São Paulo. Trata-se de uma barragem de gravidade executada em concreto armado, constituída por contrafortes e por uma parede de base larga, à qual se integra um vertedouro com dois vãos. A barragem possui cerca de 85 m de extensão na crista e 25 m de altura. A Figura 1 ilustra a Barragem de Pirapora.

A investigação do quadro patológico da Barragem de Pirapora, iniciada em 2013, foi estruturada em 11 etapas:

1. Coleta e análise dos dados de projeto, construção, operação e instrumentação;
2. Inspeção visual, cadastramento de anomalias nas estruturas e execução de ensaios não destrutivos;

3. Ensaios dinâmicos para determinação das propriedades mecânicas das estruturas;
4. Modelos matemáticos e calibração com os resultados experimentais;
5. Avaliação da segurança estrutural;
6. Caracterização dos parâmetros da RAA e dos materiais constituintes;
7. Elaboração de modelo matemático tridimensional e simulação do comportamento da barragem;
8. Avaliação das alternativas para mitigação;
9. Simulação por meio dos modelos matemáticos calibrados das possíveis intervenções nas estruturas;
10. Projeto básico para execução da solução adotada;
11. Elaboração de projeto de monitoramento de longo prazo.

O presente artigo aborda as etapas 2 e 6.

2.1 Métodos para avaliação e análise

Fournier e Bérubé [1] indicam que a investigação detalhada de RAA em estruturas deve abranger inspeção visual detalhada, petrografia, ensaios mecânicos, ensaios de expansão de testemunhos, medições de álcalis e investigações estruturais. As atividades realizadas foram estruturadas de forma semelhante, como demonstrado pelos itens a seguir.

INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual realizada na Barragem de Pirapora compreendeu o mapeamento das anomalias apresentadas pelas estruturas de concreto, bem como a classificação de suas características e sua quantificação.

Para esse fim, as estruturas foram acessadas através de técnicas de alpinismo industrial por profissionais que coletaram, entre outras informações, o tipo, as dimensões, a localização precisa e a criticidade de cada anomalia segundo um padrão pré-estabelecido. Os dados obtidos foram registrados em planilhas e desenhos.

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Antes da realização dos ensaios laboratoriais, os testemunhos de concreto tiveram sua homogeneidade e capacidade avaliadas por meio do ensaio de ultrassom, seguindo as prescrições das normas ABNT NBR 8802:2013 (Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica) e ASTM C597-09 (*Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*).

As amostras foram ensaiadas atra-

vés do método direto, utilizando a frequência de 54 Hz. O ensaio consiste, de forma simplificada, na emissão de ondas ultrassônicas por um circuito gerador-receptor, que as transmite para as amostras através de um transdutor emissor e as recebe através de um transdutor receptor. O tempo necessário para que as ondas atravessem um comprimento conhecido do material é registrado pelo equipamento, que calcula sua velocidade de propagação. A velocidade das ondas é relacionada à qualidade do concreto quanto à sua compacidade e homogeneidade e é fortemente reduzida pela presença de vazios e fissuras no interior das amostras.

A determinação da absorção de água, do índice de vazios e da massa específica do concreto foi realizada conforme a norma ABNT NBR 9778:2009 (Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica). Os resultados foram analisados pelos parâmetros do CEB 92 [2] e indicam a qualidade do concreto em relação a essas propriedades, que influenciam sua durabilidade.

Como apontado por Mehta e Monteiro [3], a expansão e a fissuração do concreto em decorrência de reações expansivas podem levar à perda de resistência e do módulo de deformação. Estudos reportam perda de 40% a 80% da resistência à tração do concreto [1].

Langdon e Marzouk [4] afirmam ainda que o tipo de agregado (altamente ou moderadamente reativo), assim como o tipo de concreto (resistência normal ou alta resistência), são parâmetros que influenciam fortemente a redução das propriedades mecânicas do material. Dessa forma, a resistência à compressão axial, o módulo de elasticidade e a resistência à tração do concreto foram avalia-

dos após a extração de testemunhos das estruturas.

ANÁLISE PETROGRÁFICA, MICROSCOPIA ESTEREOSCÓPICA E ÓTICA, E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Para a identificação das reações expansivas no concreto, é fundamental a realização da análise petrográfica do concreto combinada a técnicas como MEV. Através delas, é possível verificar não só a reatividade potencial dos agregados, mas a presença de eventuais produtos das reações, entre outros itens. Os ensaios, guiados pelas normas ABNT NBR 15577-3:2008 (Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 3: Análise petrográfica para verificação de potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto) e ASTM C856-83:1983 (*Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete*), foram realizados pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE ÁLCALIS

Através desse ensaio, obtêm-se os teores de álcalis solúveis e totais, bem como o equivalente alcalino em Na_2O . Dado que a RAA consome os álcalis do concreto ao se desenvolver, o valor do equivalente alcalino pode ser utilizado para avaliar o progresso da reação: quanto menos álcalis restantes no material, menor a degradação adicional potencialmente provocada pela RAA ao longo do tempo.

DETERMINAÇÃO DA EXPANSÃO RESIDUAL EM CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

O ensaio, realizado ao longo de um ano, acelera em laboratório a



a



b

► **Figura 2**
Fissuração aleatória e eflorescências na lateral do contraforte (a) e na região da viga munhão (b)



a



b

► **Figura 3**
Fissuras aleatórias no topo do contraforte – (a) e (b)

► **Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização das propriedades do concreto**

Ensaio	Quantidade de amostras	Valor médio	Coefficiente de variação
Velocidade de propagação de onda ultrassônica (m/s)	16	4262	8.0%
Absorção de água (%)	2	4.95	30.0%
Índice de vazios (%)	2	11.75	25.9%
Massa específica (g/cm ³)	2	2.68	0.2%
Resistência à compressão (MPa)	6	33.7	18.4%
Módulo de elasticidade tangente – E _{ct} (GPa)	3	26	27.0%
Módulo de elasticidade secante – E _{cs} (GPa)	3	25	27.0%
Resistência à tração indireta – f _{ct,sp} (MPa)	2	3.2	9.5%
Resistência à tração direta – f _{ct} (MPa)	2	2.6	27.3%

evolução da RAA presente em amostras extraídas da estrutura. Com os resultados obtidos, pode-se avaliar a tendência de comportamento do material em relação às reações expansivas apresentadas. As normas NBR 15577-1:2008 (Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto) e NBR 15577-6:2008 (Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 6: Determinação da expansão em primas de concreto) nortearam a realização do ensaio e a análise dos resultados.

As quantidades de amostras foram definidas com base em três princípios:

1. Requisitos normativos;
2. Minimização do dano causado à barragem pela extração de testemunhos de concreto;
3. Disponibilidade dos resultados dos ensaios realizados desde a descoberta da RAA na estrutura, obtidos na Etapa 1 da investigação do quadro patológico.

3. RESULTADOS

INSPEÇÃO VISUAL

Entre as anomalias possivelmente causadas pelas reações expansivas do concreto, foram visualizadas a exsudação de material esbranquiçado – eflorescências e/ou produtos das reações –, fissuras mapeadas com abertura máxima entre 0,3 e 2,0 mm e o lascamento do concreto decorrente da evolução de fissuras (Figuras 2 a 4).

Foram mapeados ainda os pontos e as áreas afetados por outras anomalias, como o desgaste superficial do concreto por erosão. Onde se mostrou necessário, a inspeção visual foi complementada pela prospecção dos elementos, que

constatou o bom estado de conservação das armaduras embutidas.

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Os resultados são apresentados na Tabela 1.

ANÁLISE PETROGRÁFICA, MICROSCOPIA ESTEREOSCÓPICA E ÓTICA, E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Foram realizados ensaios com o objetivo de avaliar a presença de reações expansivas nas amostras (Figura 5 e Figura 6).

Através desses ensaios verificou-se:

- ▶ Ausência de fraturamento, apesar da presença de microfissuras em parte das amostras;
- ▶ Aderência deficiente entre argamassa e agregado graúdo;
- ▶ Rara presença de bordas de reação no entorno dos agregados;
- ▶ Presença de agregado graúdo granítico potencialmente reativo, com presença de quartzo microgranular localmente recristalizado e quartzo deformado com extinção ondulante;
- ▶ Agregado miúdo potencialmente reativo com fragmentos de quartzito constituídos por quartzo microgranular;
- ▶ Cristais aciculares fibrorradiados de etringita depositados na forma de tufo em poros, dando indícios de sua formação tardia (*Delayed Ettringite Formation – DEF*), ou em grandes massas na interface pasta-agregado;
- ▶ Presença de minerais característicos da RAA na interface agregado-argamassa;
- ▶ Grande quantidade de gel da RAA nos poros e no entorno dos



a

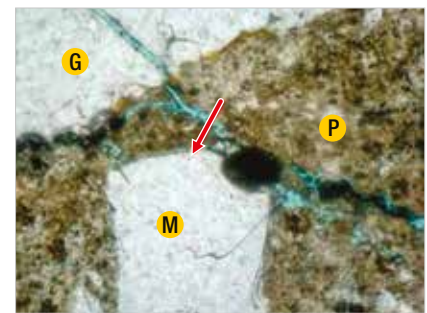


b

▶ **Figura 4**
Fissuras nos vertedouros da barragem – (a) e (b)

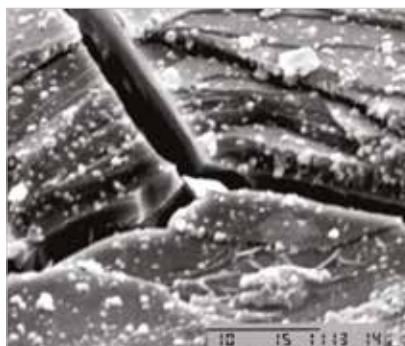


a

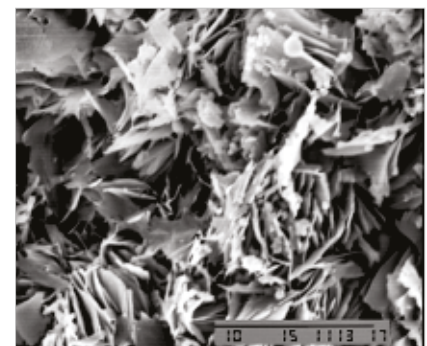


b

▶ **Figura 5**
Etringita (E) nos poros do concreto ampliados em 12x (a) e fissura entre o agregado e a argamassa preenchida pelo gel da reação ampliada em 100x (b) (ABCP)



a



b

▶ **Figura 6**
Imagens obtidas em MEV do gel de reação e dos cristais de RAA ampliadas respectivamente em 2500x (a) e 3000x (b) (ABCP)

- agregados graúdos;
- ▶ Indícios da ocorrência de reação álcali-silicato;
- ▶ Distribuição heterogênea das reações expansivas nas amostras.

DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE ÁLCALIS

O equivalente alcalino em Na_2O médio, calculado a partir do teor de álcalis solúveis das amostras, é de

0,075±0,015%, valor baixo e que não torna necessária a aplicação de medidas mitigadoras de forte intensidade no momento. O equivalente alcalino em Na₂O médio, calculado a partir do teor de álcalis totais das amostras, no entanto, é de 2,66±0,55%, valor notavelmente maior do que o limite normativo de 0,6%.

DETERMINAÇÃO DA EXPANSÃO RESIDUAL EM CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Verificou-se que a expansão residual das amostras foi muito baixa, atingindo 0,1% após o período de um ano de ensaio. O limite para expansão nesse período é de 0,4%. Como os resultados encontrados são inferiores a 0,4%, pode-se afirmar que a expansão residual das amostras se apresenta dentro do limite admissível.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitem verificar que o concreto das amostras analisadas apresentou bom desempenho quando submetido ao ensaio de ultrassom, o que indica a ausência de fissuração e falhas de concretagem no interior dos testemunhos, bem como compacidade boa a alta. De acordo com o padrão indicado por Cánovas [5], as amostras analisadas são classificadas como de qualidade alta à durável em relação à sua homogeneidade e compacidade.

Quanto ao índice de vazios, propriedade que também pode ser relacionada à compacidade, o concreto apresentou qualidade moderada a boa. Sua absorção de água, no entanto, variou de média a alta.

É válido mencionar que a norma brasileira para projetos de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118) incorporou em 2003 critérios que consideram,

além da capacidade resistente da estrutura, sua durabilidade frente ao ambiente, refletindo as mudanças na percepção da comunidade técnica. Como a Barragem de Pirapora foi inaugurada na década de 50, a versão citada da norma não estava em vigor na época da construção e não foi considerada no projeto. Ainda assim, esses conceitos são de grande importância e devem ser aplicados na análise da estrutura.

Verificou-se que a resistência à compressão média das amostras foi igual a 33,7±6,2 MPa, menor do que os 40 MPa atualmente recomendados pela ABNT NBR 6118:2014 para concreto exposto à Classe de Agressividade Ambiental IV. Na ausência de registros do módulo de elasticidade do concreto especificado à época da construção, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos e valores teóricos calculados de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Constatou-se que o módulo de elasticidade secante e o módulo de elasticidade tangente do concreto, ambos experimentais, foram maiores do que os módulos teóricos, mostrando-se próximos aos valores indicados na Tabela 8.1 da norma para concretos de classe C30 e C35 ($E_{ci} = 32 \pm 3$ GPa e $E_{cs} = 29 \pm 3$ GPa).

A resistência à tração obtida experimentalmente por compressão diametral resultou no valor médio de 3,2±0,3 MPa, ou seja, 5% maior do que o valor teórico calculado de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 [6], com base na resistência à compressão obtida nos ensaios previamente descritos. Como a resistência à tração e o módulo de elasticidade do concreto não foram reduzidos em relação a seus valores teóricos, como poderia ocorrer em função da ocorrência de RAA e DEF, pode-se afirmar que as reações expansivas não

afetaram significativamente essas propriedades do material.

É importante destacar que a realização dos ensaios de ultrassom nos testemunhos é particularmente recomendável por possibilitar a comprovação de sua integridade antes da determinação da resistência à compressão axial. Como o valor dessa propriedade foi utilizado para o cálculo dos valores teóricos de resistência à tração e módulo de elasticidade, nota-se que um comprometimento na avaliação da resistência à compressão do concreto afetaria a análise de todas as propriedades mecânicas analisadas.

Através da análise petrográfica verificou-se que, além da RAA, o concreto apresenta DEF. O baixo teor de álcalis solúveis, porém, indica que há poucos álcalis disponíveis para a continuidade da RAA no momento. De fato, as amostras foram aprovadas na avaliação da expansão residual, indicando que o quadro patológico decorrente das reações expansivas não deve evoluir de forma significativa futuramente.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a Barragem de Pirapora possui um quadro fissuratório significativo, além de anomalias de menor gravidade como disgregação e desgaste superficial do concreto, identificadas na inspeção visual.

Conclui-se ainda que o concreto da Barragem de Pirapora apresenta expansão por RAA e DEF, mas suas propriedades mecânicas não se encontram comprometidas, e que não é esperada evolução significativa das reações expansivas, contanto que os álcalis totais não sejam liberados para o meio.

Quanto às demais características referentes à durabilidade do material analisadas, verificou-se que o concreto,

apesar de possuir resistência à compressão inferior ao que a norma ABNT NBR 6118:2014 recomenda atualmente para concreto em ambientes de Classe de Agressividade IV (classificação aplicável à Barragem de Pirapora) e absorção de água de média a alta, apresenta homogeneidade e compacidade satisfatórias.

Dessa forma, entende-se que a Barragem de Pirapora se apresenta passível de recuperação e que não serão

necessárias intervenções de mitigação de reações expansivas generalizadas ou de grande complexidade, podendo essas se limitar às áreas mais afetadas – os contrafortes. Além disso, faz-se necessária a aplicação de sistemas de proteção com resistência química e resistência à abrasão, dadas as condições de exposição, além de permeáveis ao vapor, permitindo a evaporação da água presente no interior dos elementos, mas

impedindo que a água em estado líquido adentre os elementos. Essa medida é importante dado o fato de que tanto a RAA como a DEF dependem da presença de água para seu desenvolvimento. Os resultados apresentados permitiram ainda a priorização das atividades e forneceram dados essenciais para a realização das etapas posteriores da avaliação da estrutura, como a elaboração de modelos numéricos. 🏗️

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BÉRUBÉ, M.A.; FOUNIER, B. Alkali-aggregate reaction in concrete: A review of basic concepts and engineering implications. Canadian Journal of Civil Engineering V. 27, p. 167 – 191, 2000.
- [2] COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. Diagnosis and assessment of concrete structures - State-of-art report. CEB Bull 1989. 1989.
- [3] MEHTA, K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 3ª. ed. São Paulo, 2008.
- [4] LANGDON, S.; MARZOUK, H. The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete. Cement & Concrete Composites V. 25, p. 549 – 556, 2003.
- [5] CÁNOVAS, M F. Patologia e terapia do concreto armado. Ed. Pini. São Paulo, 1988.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.



Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

PARA ANUNCIAR

Tel. 11- 3735-0202

arlene@ibracon.org.br

Formatos e investimentos

Formato	Dimensões	R\$
2ª Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	9.650,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	8.550,00
4ª Capa	21,0 x 28,0 cm	6.530,00
2ª, 3ª Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	6.290,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	5.860,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.390,00
1/2 Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.190,00
1/2 Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.190,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	2.750,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	2.750,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.380,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta

Periodicidade
Número de páginas
Formato
Papel
Capa plastificada
Acabamento
Tiragem
Distribuição

Trimestral
100
21 x 28 cm
Couché 115 g
Couché 180 g
Lombada quadrada colada
5.000 exemplares
Circulação controlada



Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:
www.ibracon.org.br (link "Publicações")

Abertura de juntas de expansão na barragem da UHE Pedra

ALBERTO JORGE C. TAVARES CAVALCANTI • PATRÍCIA NEVES SILVA • THAIS AMORIM ALBINO DA SILVA

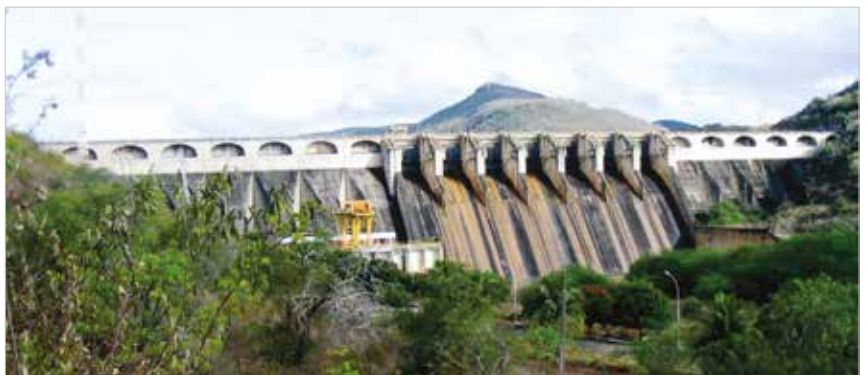
COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF)

I. INTRODUÇÃO

A barragem da UHE Pedra, localizada no Rio de Contas, no local denominado Pedra da Santa, 18 km à montante da cidade de Jequié, no Estado da Bahia, é do tipo contrafortes e foi construída entre 1964 e 1968. A Casa de Força é dotada de uma unidade geradora com turbina tipo Francis com potência nominal de 20 MW.

A barragem é constituída por 24 blocos de 17 m de largura. No trecho da margem direita existem onze blocos não vertentes com comprimento total de aproximadamente 200 m. No trecho da margem esquerda existem seis blocos com extensão total de 105 m. Entre esses dois trechos existem sete blocos vertentes com comprimento total de 119 m (Figura 1), equipados com comportas do tipo segmento, com 9,0 m de altura e 12,50 m de largura. Os vãos das comportas são separados por pilares duplos, com largura de 2,25 m. A capacidade de vazão do vertedouro é da ordem de 8000 m³/s, com o reservatório na cota 231,30 m.

A seção de cada bloco é constituída por um contraforte com largura crescente de cima para baixo, ou seja, com 6,74 m no topo e 10,50 m junto à fun-



► **Figura 1**
Vista de jusante da UHE Pedra

dação. Os blocos do vertedouro têm características geométricas semelhantes às dos blocos laterais até a cota de 200,64 m. Acima dessa cota o bloco tem uma forma de soleira vertente. Em cada bloco vertedouro apoia-se uma comporta suportada por vigas munhão. A altura máxima da barragem acima da fundação é de aproximadamente 60 m.

A reação álcali-agregado (RAA) está causando a expansão do concreto, o que resultou na dificuldade de operação da comporta da extremidade esquerda do vertedouro. Além disso, a reação provocou outras anomalias, tais como: fissuras em forma de mapa na crista da barragem (Figura 2) e no topo das vigas munhão do vertedouro; compressão

das juntas verticais de contração entre blocos à montante, resultando na expulsão do betume de preenchimento da junta; abertura e deslocamento relativo das juntas de contração entre blocos à jusante, o que é particularmente visível na região das vigas munhão (Figura 3).

Em 2006 foi contratada pela Chesf a leme Brasil Engenharia para realização de estudos de medidas corretivas a partir de modelo matemático simulando os efeitos da expansão do concreto e levando em consideração a anisotropia da reação e a relaxação do material (Cavalcanti et al., 2008). Em função dos resultados da modelagem matemática foi elaborado um projeto de reabilitação da estrutura a fim de mitigar os



► **Figura 2**
Fissuração na barragem

efeitos da RAA, que especificou o corte de juntas de expansão e instalação de um sistema de monitoramento do comportamento da barragem.

2. CORTE DAS JUNTAS DE EXPANSÃO

Para mitigar o efeito da expansão do concreto sobre as comportas das extremidades do vertedouro foram projetadas quatro juntas de expansão. As juntas entre os blocos B9/B10, B10/

B11, B19/B20 e B20/B21, nas adjacências do vertedouro, abrangem os blocos tipo contraforte da barragem, com extensão montante-jusante de 5,75 m, 13 m de profundidade e área de 66,90 m² (Figuras 4, 5 e 6).

O corte das juntas de expansão na Barragem de Pedra foi executado pela Betonpoxi Engenharia Ltda, em outubro de 2009. Devido à extensão da área, a execução de cada corte foi realizada em etapas sucessivas, para as quais essa área foi fracionada em faixas com altura máxima de 3,00m.

O fracionamento da seção transversal foi feito através de furos de alívio executados com brocas com coroas diamantadas de diâmetro 5,0cm, com extensão suficiente para atravessar por completo o maciço. Os furos de alívio são essenciais para evitar que o fio fique preso durante a execução do corte, que pode ocorrer devido às altas tensões internas oriundas da reação álcali-agregado.

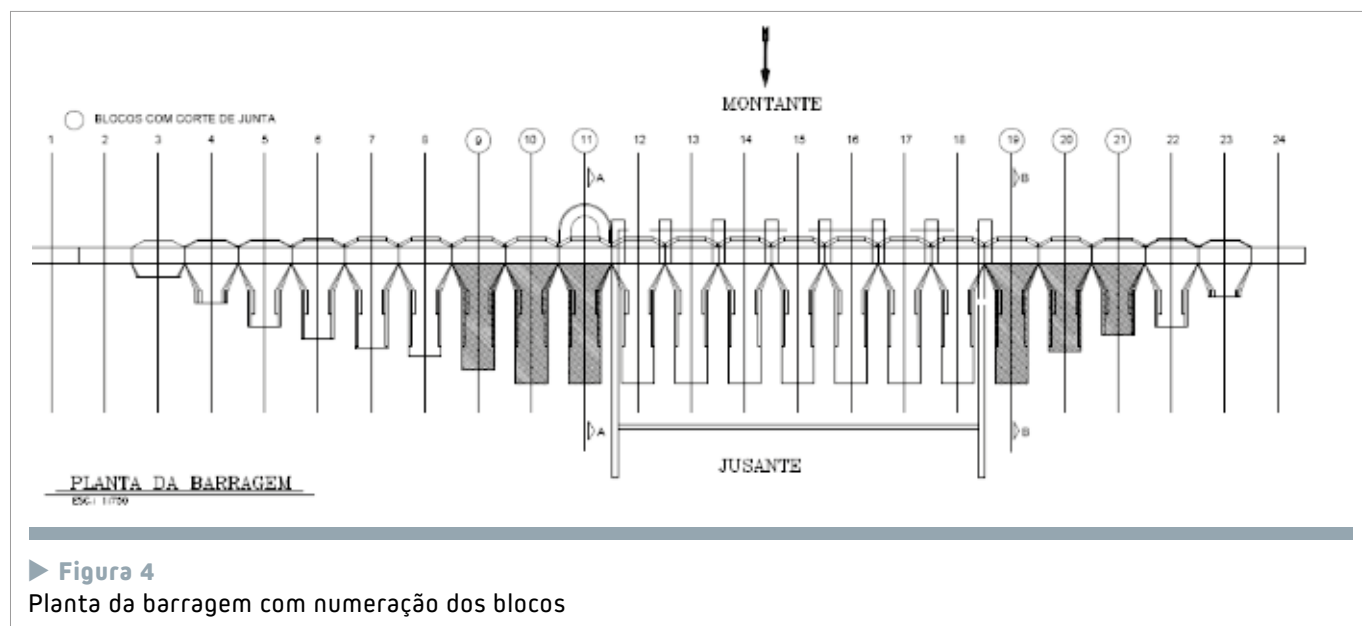
Os cortes e recortes de juntas foram executados com a utilização de fio de corte diamantado galvanizado com 10 mm de diâmetro. O fio de corte é



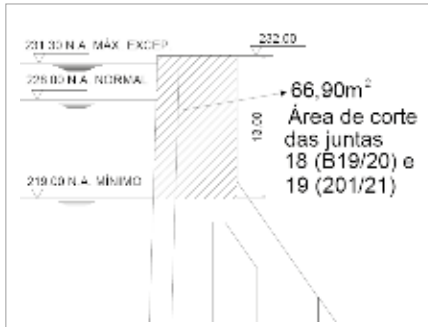
► **Figura 3**
Abertura de junta nos pilares

dotado de uma cordoalha central com fios de aço envolvidos por anéis de aço com pequenos diamantes encrustados em sua superfície (Figuras 7 e 8).

Em função das características da área de corte descritas acima, a primeira fatia da seção transversal foi cortada com o método de corte em mergulho, onde o fio corta da cota superior para a cota inferior. Para as demais fatias, foi utilizado o método de corte de laçada, passando o fio através dos furos e exe-



► **Figura 4**
Planta da barragem com numeração dos blocos



► **Figura 5**
Junta ente os blocos não vertentes

cutando o corte da cota inferior em direção à cota superior.

A realização dos cortes das juntas, entre as El 232 m e EL 219 m, exigiu o rebaixamento do reservatório até a El 217,5 m. A junta B9/B10 foi cortada em 3 etapas e a junta B10/B11 em 2 etapas, devido à interferência com o nível de água do reservatório (Figura 9).

Para que fosse possível acessar a junta ao longo de sua extensão foram instalados balancins elétricos, tanto na face de montante quanto na face de jusante. Tais balancins são dotados de quatro cabos de sustentação e duplo sistema de segurança independentes, sendo um realizado pelo motor elétrico e outro por um sistema de trava-quadras.

Para manter o alinhamento da junta durante a execução do corte



► **Figura 6**
Vista de montante dos blocos da ombreira esquerda

foi instalado um sistema de tubos dotados de fixadores, abraçadeiras e polias auxiliares. Tal sistema denomina-se de “Corte de Mergulho”. Esse sistema de polias utilizado para o corte de mergulho foi modificado para ser também utilizado no sistema de “Corte de Laçada”, de modo a guiar o fio na direção do furo executado, propiciando um melhor deslizamento no interior da junta (Figura 10).

3. MONITORAMENTO DO CORTE DAS JUNTAS DE EXPANSÃO

Para o monitoramento das juntas de expansão durante o corte foram instaladas bases de alongômetro, posicionadas segundo os vértices de um triângulo equilátero, com 40 cm de lado, fixadas com resina epóxi em furos executados no concreto nas proximidades das juntas de contração (Figura 12). Foram monitoradas as 4 juntas cortadas e as 4 juntas vizinhas aos cortes.

As bases de alongômetro foram instaladas ao longo da crista da barragem e no paramento de jusante, permitindo a determinação dos deslocamentos diferenciais entre blocos ao longo das direções (Tabela 1):

- Normal à junta (+ abertura – fechamento);
- Tangencial à junta (deslocamento cisalhante).

Nas Figuras 13 e 14 são apresentados os gráficos das leituras das



► **Figura 7**
Equipamento de corte



► **Figura 8**
Detalhe do resfriamento do cabo

bases de alongâmetro, na direção normal às juntas, durante o período de agosto a outubro de 2009. Observa-se que:

- ▶ Nas juntas 8/9 e 21/22, vizinhas às juntas cortadas, não houve movimentação;
- ▶ As juntas 11/12 e 18/19, entre o vertedouro e os blocos internos extremos das ombreiras direita e esquerda, apresentaram grande dispersão nas leituras que variaram entre -0,5 mm e 0,5 mm;
- ▶ As juntas cortadas 9/10, 10/11, 19/20 e 20/21 apresentaram uma clara tendência de fechamento (este fechamento foi maior nas

juntas da ombreira esquerda, cerca de 1,5 mm, enquanto nas juntas da ombreira direita foi da ordem de 1 mm).

4. VEDAÇÃO DAS JUNTAS DE EXPANSÃO

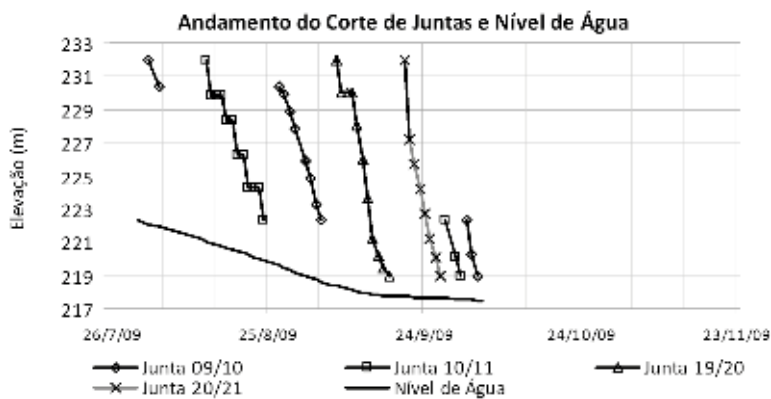
A vedação das juntas de expansão foi projetada através de uma faixa de manta de PVC flexível dotada de uma segunda manta entre a mesma e o concreto, para servir de drenagem, e fixadas ao longo da lateral com um perfil de aço inox aparafusado ao concreto.

O trabalho foi executado pela Carpi Brasil Ltda em quatro juntas,

ao longo de 14,0 m de altura, entre as elevações 218,0 e 232,0 m, perfazendo o total de 56,0 m. O sistema adotado foi composto de duas camadas de suporte e uma camada de impermeabilização.

As camadas de suporte constituíram-se de faixas de manta de PVC flexível, com largura mínima de 0,42 m, fixadas ao concreto ao longo de ambas as laterais com perfis de aço inox e chumbadores de impacto.

A camada de impermeabilização constituiu-se de uma faixa de manta



▶ **Figura 9**
Cronograma dos cortes das juntas



▶ **Figura 10**
Sistema de alinhamento do cabo diamantado

▶ **Tabela 1 – Localização das bases de alongâmetro para monitoramento das juntas**

Junta	Base de alongâmetro		
	Crista	Galeria El. 225,50m	EL. 227,50 m
B8/ B9	BA-1 / BA-2	BA-3	–
B9/ B10	BA-4 / BA-5	BA-6	–
B10/ B11	BA-7 / BA-8	BA-9	–
B11/ B12	BA-10 / BA-11	–	BA-12
B18/ B19	BA-13 / BA-14	–	BA-15
B19/ B20	BA-16 / BA-17	BA-18	–
B20/ B21	BA-19 / BA-20	BA-21	–
B21/ B22	BA-22 / BA-23	BA-24	–



▶ **Figura 11**
Perfuração de furo de alívio

com largura mínima de 0,82 m, fixada por meio de dois conjuntos de perfis chatos de aço inox AISI 304; um intermediário, com 50 mm de largura e 3 mm de espessura, fixado por meio de chumbadores de expansão, com fita de selagem de PVC; e outro perimetral, com placas de 80 mm de largura e 8 mm de espessura, assentadas sobre um berço de argamassa epoxídica e ancoradas a cada 20 cm, em ambos os lados da junta, por meio de chumbadores de aço inox envolvidos em resina. A estanqueidade total foi obtida comprimindo-se as placas de aço contra uma gaxeta de EPDM apropriada (Figura 15).

5. INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação tem por objetivo fornecer informações sobre o comportamento das estruturas, contribuindo para o entendimento do seu desempenho e servindo de gatilho para a tomada de ações preventivas e emergenciais que garantam sua segurança.

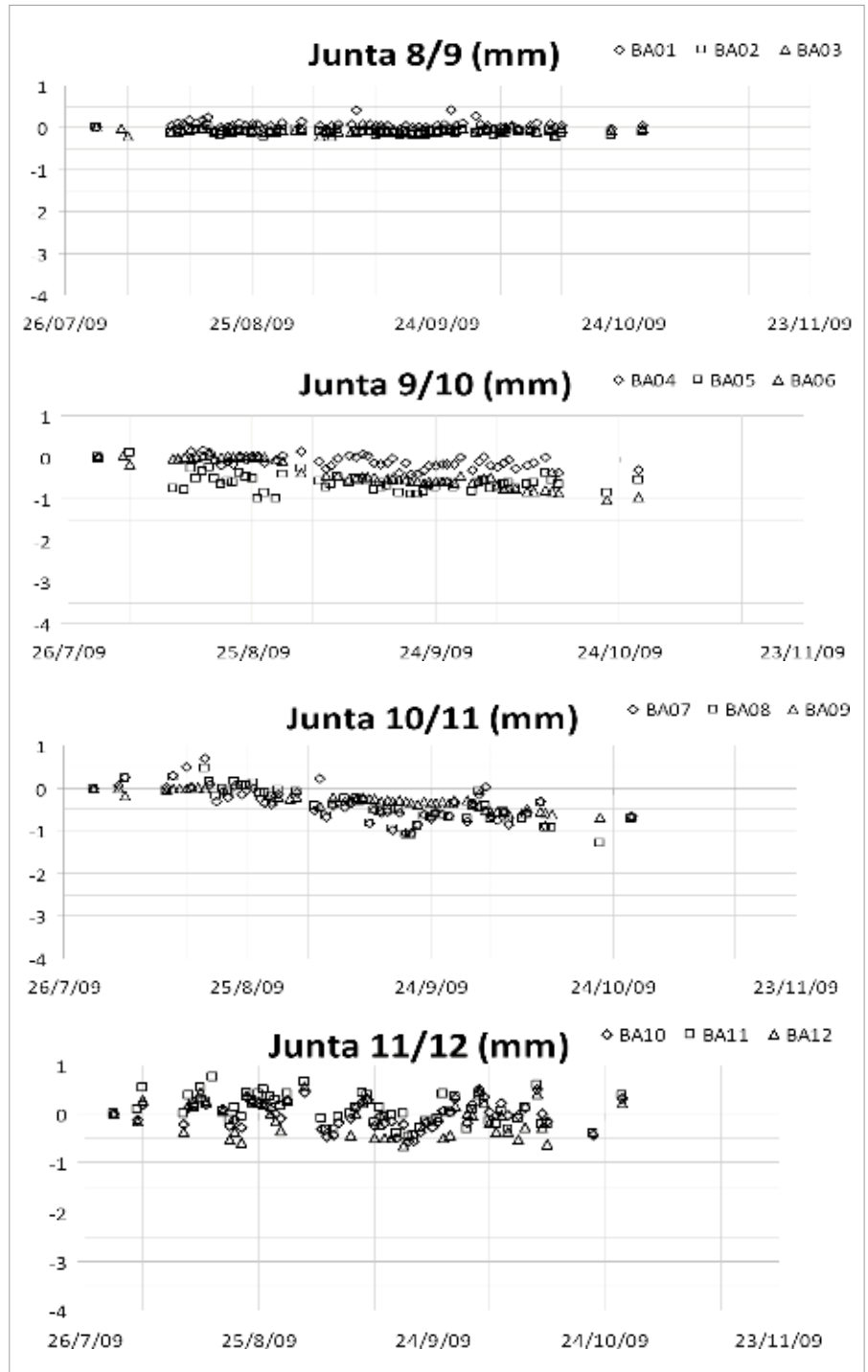


► **Figura 12**
Bases de alongâmetro na crista da barragem

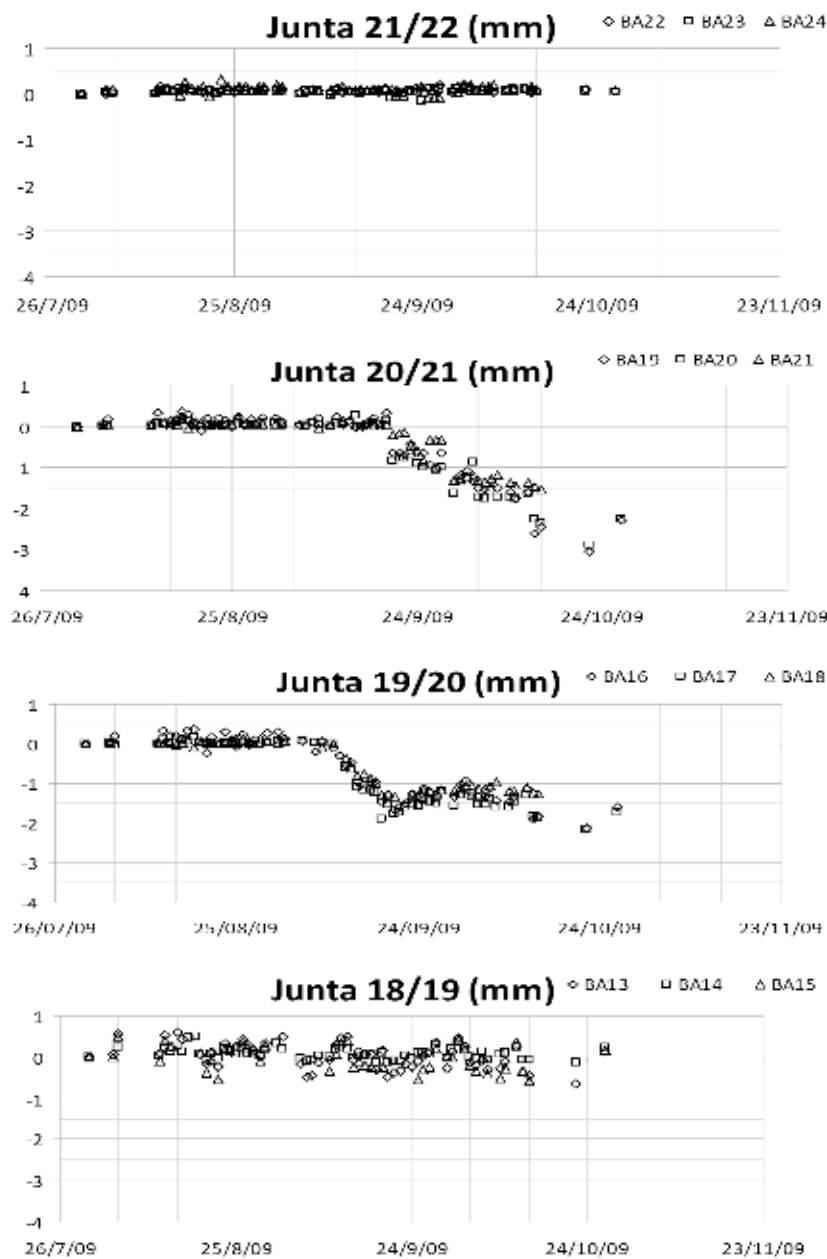
Na Barragem da Pedra foi projetado um sistema de instrumentação, cujo objetivo principal é verificar as deformações da estrutura e acompanhar a evolução da expansão do concreto devido à reação álcali-agrega-

do. O objetivo da instrumentação se norteia na leitura de cinco elementos distintos, apresentados na Tabela 2.

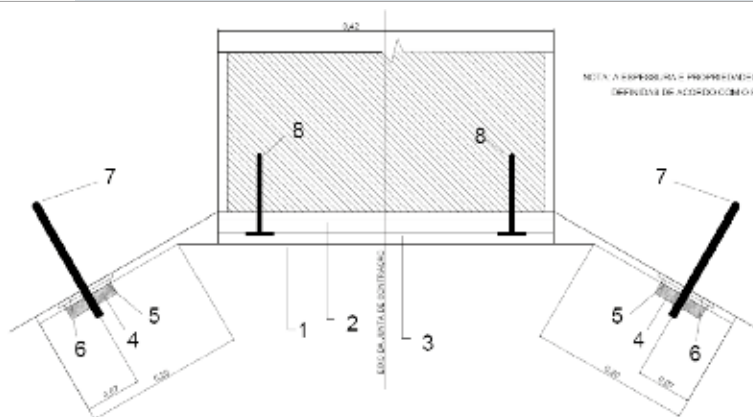
A instrumentação se concentra principalmente nos blocos B10, B11, B15, B19 e B20 (Tabela 3). Para



► **Figura 13**
Monitoramento das juntas da ombreira direita



► **Figura 14**
Monitoramento das juntas da ombreira esquerda



1. Manta de PVC flexível geocomposta (PVC + geomembrana + geotextil)
2. Primeira camada de suporte
3. Segunda camada de suporte
4. Perfil longitudinal de aço inox
5. Gaxeta
6. Camada de regularização
7. Chumbador com ancoragem química
8. Chumbador com ancoragem de impacto

► **Figura 15**
Seção transversal da impermeabilização da junta de expansão

os demais blocos foram instalados marcos superficiais, medidores triortogonais de junta e medidores de vazão. Os instrumentos foram fornecidos e instalados pela Concremat Engenharia.

O primeiro elemento corresponde ao extensômetro múltiplo de haste, cujo mecanismo de funcionamento



► **Figura 16**
Regularização da superfície



► **Figura 17**
Fixação dos perfis de inox



► **Figura 18**
Vista de cima dos perfis

► **Tabela 2 – Instrumentos instalados**

Instrumento	Parâmetros a serem avaliados
Extensômetros múltiplos de hastes	Medidas das deformações verticais e sub-horizontais do concreto, devido à expansão decorrente dos efeitos da reação álcali-agregado e deformações da fundação do vertedouro
Pêndulo direto	Deslocamentos relativos entre a crista da barragem e galeria de drenagem nas três direções
Marcos superficiais	Deslocamentos verticais e horizontais da crista da barragem
Medidores de vazão	Medidas das infiltrações de água através do concreto e fundação
Medidores triortogonais	Medidas dos deslocamentos relativos nas três direções, nas juntas de contração e nas fissuras principais

consiste em medir deslocamentos transmitidos através de hastes rígidas entre o ponto de ancoragem e a cabeça de referência. No caso especial da barragem da Pedra foram instalados 7 extensômetros.

Os extensômetros foram instalados em furos de sondagem rotativa de 3", após a sua limpeza por jateamento de água. Para a ancoragem das hastes dos extensômetros utilizou-se de calda de cimento (relação a/c = 0,6) de modo que o ponto de ancoragem da haste ficasse no meio do trecho injetado e com

comprimento superior a 2,0 m. Nos trechos compreendidos entre as ancoragens, o furo foi preenchido com cascalho fino com granulometria entre 2,0 a 5,0 mm. A cabeça de cada extensômetro foi fixada a uma base solidária à estrutura de concreto. As Figuras 22 e 23 mostram alguns desses detalhes. Cada extensômetro permite a leitura dos deslocamentos entre o ponto de ancoragem e a cabeça de referência, ligados por hastes rígidas.

Outro instrumento utilizado foi o medidor triortogonal de junta, que mede os deslocamentos em três direções ortogonais, construídos em aço inox e fixados convenientemente na estrutura. A fixação foi realizada através de dois furos de 7,5 cm



► **Figura 19**
Colocação da manta da base



► **Figura 20**
Vista de cima da manta

► Tabela 3 – Instrumentos de auscultação para a Barragem de Pedra

Instrumento	Blocos “chave”					Total
	B10	B11	B15	B19	B20	
Pêndulo direto (PD)	1	1	1	1	1	5
Extensômetro múltiplo (EM)	–	3	2	2	–	7
Medidor triortogonal (MT)	1	1	3	1	1	31
Marco superficial (MS)	1	1	1	1	1	12
Estação topográfica (ET)	–	–	–	–	–	2
Medidor de vazão (MV)	–	1	–	1	–	4
Total geral						61



► **Figura 21**
Vista de baixo da manta



► **Figura 22**
Detalhe das hastes do extensômetro



► **Figura 23**
Detalhe da fixação da cabeça do extensômetro

de profundidade com 2,5 cm de diâmetro, preenchido com resina epóxi, onde foram instaladas as hastes da base do medidor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução dos cortes de juntas de expansão mostrou-se eficiente para mitigar os efeitos da expansão do concreto sobre as comportas

das extremidades do vertedouro. Um teste de abertura e fechamento das comportas, realizado após a conclusão dos cortes, não apresentou nenhuma dificuldade com sua operação.

O fechamento das juntas de expansão, medido durante a operação dos cortes, foi menor do que o calculado nas simulações dos mode-

los matemáticos, mas confirmou o padrão de ser maior na ombreira esquerda.

A instrumentação da barragem possibilitará o acompanhamento da expansão do concreto causada pela reação álcali-agregado (RAA), levantando dados que permitirão uma previsão do seu comportamento a longo prazo. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CAVALCANTI, A. J. C. T., JULIANI, M. A. C., TRISTÃO, G., SILVEIRA, J. F. A. (2008) –“Evaluation of Alkali-Aggregate Reaction Expansion on Pedra Dam by Mathematical Model”, 13th International. Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim.
- [02] CAVALCANTI, A. J. C. T., SILVEIRA, J. F. A., JULIANI, M. A. C., SILVA, P. N.. (2011) –“Projeto de Reabilitação da Barragem da UHE Pedra”, XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Rio de Janeiro.
- [03] CAVALCANTI, A. J. C. T., TRISTÃO, G., DOS SANTOS, R. T., DA SILVA, T. A. A.. (2011) –“Reabilitação da Barragem da UHE Pedra”, XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Rio de Janeiro.
- [04] CAVALCANTI, A. J. C. T., SILVA, P. N., DA SILVA, T. A. A., SOARES, R. C. . (2016) –“EXPANSION SLOT CUTTING TO COUNTERACT ALKALI AGREGGATE REACTION AT PEDRA DAM”, 15th International. Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, São Paulo.

Reparos nas estruturas da tomada d'água da UHE Jaguari afetadas pela RAA

EDVALDO FABIO CARNEIRO – ENGENHEIRO CIVIL | SUPERVISOR DA DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL

JULIO CESAR PINFARI – ENGENHEIRO CIVIL | GERENTE DA DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL

TATIANA P. ARARIPE CAPPI – ENGENHEIRA CIVIL

CESP – CIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO

MAURO H. L. COVRE – ENGENHEIRO CIVIL

I. INTRODUÇÃO

A UHE Jaguari é uma usina de geração pertencente a CESP – Companhia Energética de São Paulo, sendo dotada de duas unidades geradoras de 13,8MW cada, com função de gerar energia e regularizar vazões do Rio Jaguari, afluente do Rio Paraíba do Sul.

A Tomada d'água é constituída de uma estrutura tipo torre, com 63 m de altura, conduzindo a água armazenada no reservatório até a Casa de Força, através de um conduto forçado, constituído de um

túnel adutor com 5,0 m diâmetro e 572,50 m de extensão, localizado na ombreira esquerda entre a barragem de terra e o vertedouro de superfície. Os equipamentos de adução da tomada d'água foram especificados e construídos para uma vazão total pelo conduto forçado de até 64 m³/s, para o nível d'água de montante na cota 623,00m (Nível d'água máximo útil).

O acesso à estrutura da tomada d'água é feito através de uma passarela metálica, apoiada em dois pilares e blocos de fundação, ambos em concreto ar-

mado. Apresentam-se nas figuras 1 e 2 uma vista das estruturas da Tomada d'água e da ponte de acesso respectivamente.

Em 2001, conforme registros nos relatórios CESP [4][5], a reação álcali-agregado (RAA) foi confirmada na UHE Jaguari, através da análise petrográfica nas amostras retiradas das estruturas de concreto da tomada d'água.

Esse fenômeno deletério foi comprovado pela a presença da sílica (SiO₂) do agregado utilizado na produção do concreto, sendo altamente reativo com o álcali do cimento (Na₂O e K₂O), causando uma expansão nas estruturas e tendo, como consequência, o surgimento de fissuras nelas.

Ao longo dos anos, desde o aparecimento da RAA nas estruturas, a CESP vem monitorando esse fenômeno, através das instalações de instrumentos adicionais, de projetos de pesquisas e desenvolvimento, de manutenções preventivas (injeções e reparos), tendo como objetivo incrementar a durabilidade e garantir a



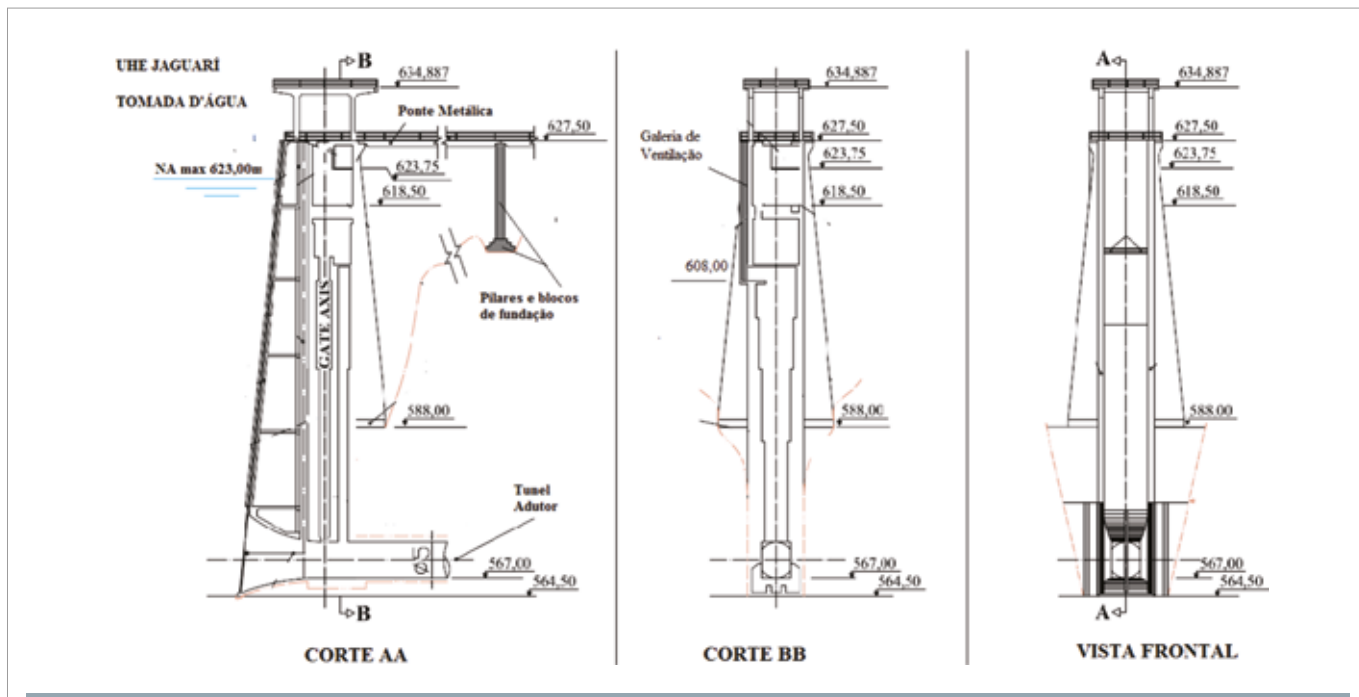
Figura 1



Figura 2

► Figuras 1 e 2

Vista das estruturas de concreto da tomada d'água e da passarela metálica



► **Figura 3**
UHE Jaguarí – vista e cortes da tomada d'água

operacionalidade da tomada d'água.

Este artigo apresenta os procedimentos, metodologias e resultados obtidos após a realização dos reparos nas juntas e fissuras nas estruturas de apoio (blocos de fundação e pilares) da ponte metálica e na galeria de ventilação da tomada d'água.

2. MANUTENÇÕES PREVENTIVAS – METODOLOGIA E MATERIAIS APLICADOS

2.1 Estrutura interna da tomada d'água

Em 2010, ocorreu uma paralisação geral da usina, para a modernização e manutenções dos equipamentos eletromecânicos. Foram instaladas as comportas tipos “stop's logs” de emergência e de montante, possibilitando realizar uma inspeção no conduto do túnel de adução e programar o serviço de reparo nas

paredes internas da galeria de ventilação da tomada d'água.

A estrutura da galeria de ventilação possui dimensões externas de 1,25m x 3,20m, com comprimento estimado em 20,00 m e espessura de parede - face para o reservatório de 0,25m. Nas figuras 3, apresentam-se uma elevação da tomada d'água e da galeria de ventilação respectivamente.

Com o objetivo de melhorar as condições de acesso à galeria, mergulhadores realizaram os primeiros serviços, através da calafetação das juntas e eventuais cavidades na parede externa da estrutura da galeria de ventilação, com aplicação de argamassa epóxi. Entretanto, o resultado da aplicação não atendeu o objetivo de reduzir significativamente as infiltrações, em função da pressão



Figura 4



Figura 5

► **Figuras 4 e 5**
Infiltrações pelas fissuras situadas na parede interna da galeria de ventilação



Figura 6

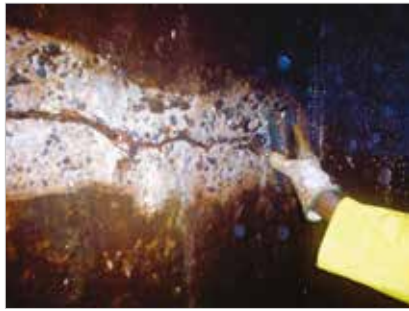


Figura 7

► **Figuras 6 e 7**

Limpeza da área a ser reparada, com utilização de cimento de pega rápida, para inicialmente estancar a infiltração da água do reservatório pela lado interno da galeria

da água do reservatório para o lado interno da galeria.

Nas ilustrações 4 e 5 apresentam as infiltrações acentuadas, para dentro da estrutura da galeria de ventilação.

Com o esgotamento do túnel adutor foram iniciados os reparos nas juntas, fissuras e cavidades que apresentavam elevadas percolações de água próximo à cota 615 m. Desse modo, foi estancado esse vazamento na junta próxima à laje, no término do primeiro lance das escadas.

Para se conseguir resultados satisfatórios no interior da estrutura, os serviços realizados associaram o emprego de cimentos de pega rápi-

da, para calafetação, e de produtos para injeção, tipo poliuretano hidroativado e resina acrílica.

Havia, também, a necessidade de eliminar as infiltrações que afetavam os trabalhos da equipe de manutenção mecânica, na cota 608,00m. As atividades para estancar as infiltrações de água seguiram com os procedimentos de furação cuidadosa do concreto, em função da espessura da parede, limpeza da área a ser reparada, com hidrojato e escova de aço, calafetação das juntas com cimento de pega rápida e injeções com os produtos mencionados acima. As ilustrações dos reparos são apresentadas nas figuras 6, 7, 8 e



Figura 8



Figura 9

► **Figuras 8 e 9**

Instalação de bicos e injeção com poliuretano e resina acrílica

9. O trabalho de reinjeção das áreas tratadas foi constante, motivado pela pressão e quantidade de água percolada.

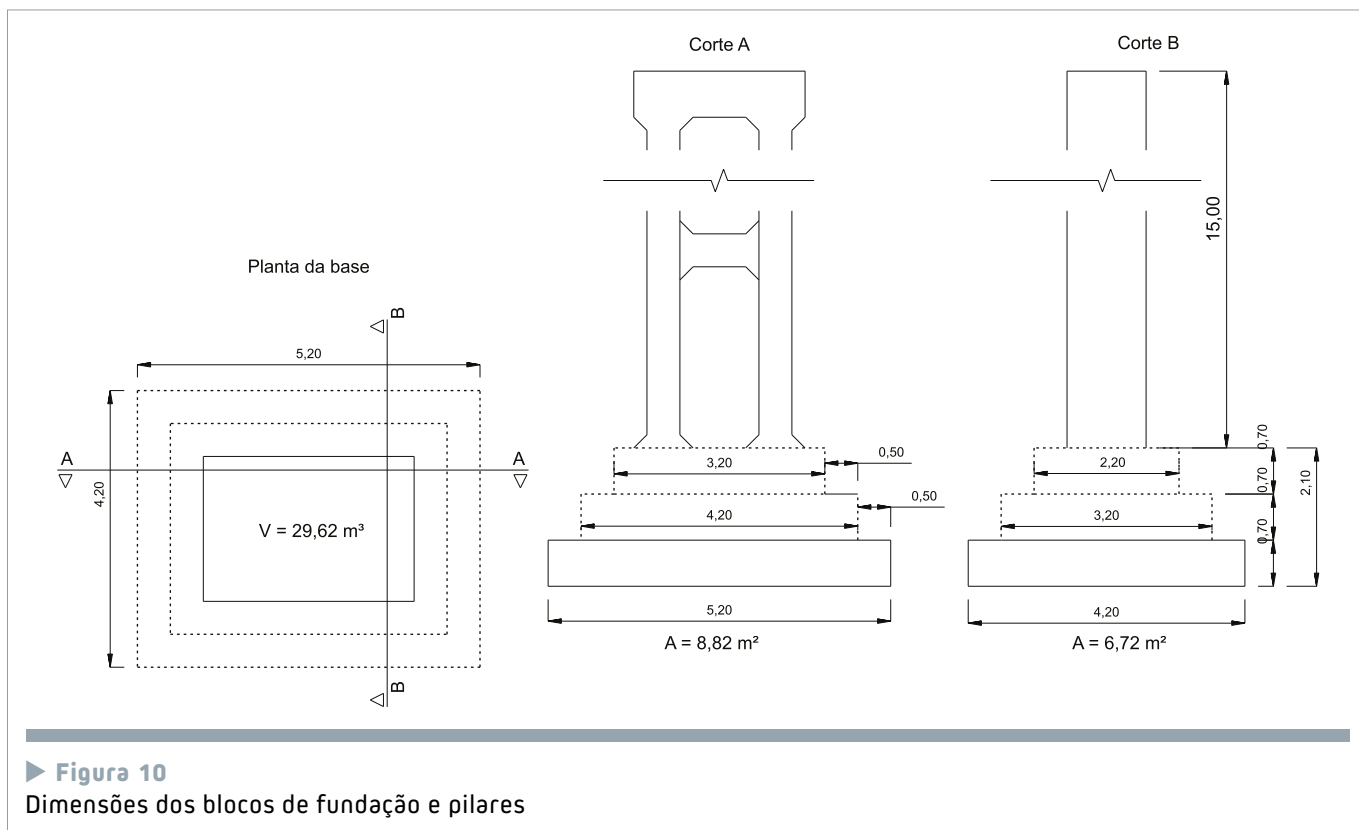
O serviço foi executado pela CESP durante 22 dias na Usina. Nesse período de trabalho foram aplicadas as quantidades indicadas na tabela 1.

2.2 Estruturas dos pilares e blocos de fundação da passarela metálica

No segundo semestre de 2014 foi realizada uma inspeção visual de rotina nas estruturas de concreto da UHE Jaguari, conforme registros no relatório CESP [2]. Na ocasião a cota do reservatório encontrava-se em 609,70m, muito abaixo dos registrados nos últimos anos, devido a um período de estiagem na região Sudeste, deixando exposto os blocos de fundação e parte dos pilares da passarela, situados na cota aproximada 612,00m. Na figura 10 apresenta-se um desenho esquemático das dimensões dos blocos e pilares. A figura 11 apresenta a ilustração da passarela metálica e pilares sobre os blocos de fundação. Na ocasião verificou-se que os blocos de apoio encontravam-se muito fissurados.

► **Tabela 1 – Quantidades e produtos usados nos serviços**

Produto	Quantidade
Poliuretano hidroativado	40,0 litros
Resina acrílica	54,5 Kg
Cimento de pega rápida	135,0 Kg
Bicos de injeção	168 unidades



► **Figura 10**
 Dimensões dos blocos de fundação e pilares

Na visita técnica, realizada pelos técnicos da CESP, verificou-se a necessidade de recuperação dos blocos e pilares, que apresentavam fissuração acentuada com aberturas acima de 1 mm, o que comprometia a resistência, elasticidade e durabilidade do concreto.

Nas figuras 12 a 15 apresentam-se os blocos de fundação e pilares da passarela metálica, de acesso à tomada d'água, destacando as fissu-

ras mais acentuadas, com abertura entre 1,0 mm a 4,0 mm. Verificaram-se também pontos de segregação do agregado na base dos pilares e, na superfície do bloco de fundação, processo de lixiviação da argamassa de revestimento.

Foi realizado pela equipe CESP o mapeamento das fissuras, definindo a metodologia para recuperação do

bloco e estabelecendo o cronograma das atividades para execução dos serviços.

Decidiu-se por injetar resina epóxi, pois, apesar dos blocos e pilares apresentarem fissuras decorrentes do RAA, necessitavam de uma recuperação que possibilitasse restabelecer a monoliticidade e integridade do conjunto estrutural. A resina



► **Figura 11**
 Vista da passarela, apoiada sobre pilares e blocos



Figura 12



Figura 13

► **Figuras 12 e 13**
 Vista dos blocos de fundação e pilares da passarela metálica, de acesso à tomada d'água, destacando as fissuras mais acentuadas, com abertura superior a 1,0 mm



► **Figura 14**

Vista da base de apoio dos pilares da passarela metálica, de acesso à tomada d'água, destacando as fissuras mais acentuadas, com abertura superior a 1,0mm. Superfícies do concreto lixiviado e presença localizada de segregação

possui alta resistência à compressão e à tração, colando a estrutura. Para viabilizar as injeções com resina, foi necessário calafetar as trincas com adesivo à base de epóxi bicomponente.

A recuperação do bloco e pilares teve início no primeiro semestre de 2015, conforme registro no relatório CESP [1], com o jateamento de água para limpeza da superfície. Esta limpeza visa deixar a estrutura livre de qualquer partícula que venha a impedir a correta recuperação da estrutu-



► **Figura 15**

Vista detalhada dos blocos de fundação, medição da abertura de fissura da ordem de 2,0 mm. Observamos o gel resultante do RAA sobre a fissura



Figura 16



Figura 17

► **Figuras 16 e 17**

Furos calafetados, introdução dos bicos injetores e realização da injeção utilizando-se resina epóxi

ra. Após o jateamento, iniciou-se o processo de calafetação das trincas, com adesivo epoxi impermeável e aderente ao concreto.

Para inserir os bicos de injeção, foram feitos furos na diagonal da fissura (45°), a cada 15 cm no máximo, de tal forma que houvesse o trespasse entre fissuras numa profundidade de 12 a 30 cm. Após a furação, os bicos injetores foram inseridos (figura 16). Com a estrutura limpa e seca, foram iniciadas as injeções com resina epóxi de baixa viscosidade (figura 17). Após a aplicação da resina, os bicos para injeção foram retirados.

Finalmente, como a presença de água é o fator que desencadeia as reações álcali-agregado, foi utiliza-

da a manta líquida altamente flexível como agente impermeabilizante sobre os blocos e parte dos pilares, evitando-se, assim, o contato da estrutura de concreto recuperada com a água do reservatório e de chuvas. Esta manta foi escolhida, pois a RAA pode ainda estar ativa, provocando movimentações na estrutura, sendo a manta resistente a aberturas de até 1,8 mm de espessura. A manta líquida foi aplicada em duas demãos (figura 18).

Nesse período de trabalho foram aplicadas as quantidades indicada na tabela 2.

3. RESULTADOS

Os serviços de reparos executados

► **Tabela 2 – Quantidades aplicadas dos produtos utilizados nos serviços**

Produto	Quantidade
Adesivo estrutural a base de epóxi	8,00 Kg
Resina de epóxi para injeção	23,43 Kg
Manta líquida flexível de acrilatos	72,00 kg
Bicos de injeção	120 und



► **Figura 18**

Vista do conjunto blocos e pilares impermeabilizados após realizado o serviço de injeção

nas paredes da galeria de ventilação da estrutura da tomada d'água não conseguiram uma vedação plena das infiltrações, mas a redução das infiltrações foi significativa, a ponto do resultado alcançado ser considerado satisfatório.

4. CONCLUSÕES

Podemos afirmar que os materiais, equipamentos utilizados e a técnica adotada no processo de reparos nas estruturas contribuíram

para reduzir as infiltrações.

As injeções de resinas epóxi nas fissuras dos blocos de fundação foram adotadas na expectativa de reconstituição da monoliticidade das estruturas.

Com as manutenções realizadas, haverá um incremento na durabilidade das estruturas reparadas, porém ainda é certa presença da RAA.

Além das manutenções preventivas e para fins de pesquisa, foram instalados na crista da tomada

d'água, para monitoramento dos efeitos da RAA, instrumentos adicionais de auscultação, como extensômetro de haste, medidores triortogonais, pêndulo invertido e aquisição remota dos deslocamentos relativos entre as guias de descida dos "stop-logs".

Apesar de a estrutura conviver com o fenômeno da reação, a RAA não está atualmente interferindo na operacionalidade de geração e na manutenção dos órgãos de descarga. ☞

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CESP – GEC/017/2015 - Relatório Técnico – "UHE Jaguari - Recuperação das Estruturas de apoio da passarela de acesso à Tomada D'água".
- [2] CESP – GEC/037/14 - Relatório de Inspeção – "Inspeção visual na Tomada D'água Da UHE Jaguari e vertedouro da barragem de Paraitinga - Outubro – 2014".
- [3] CESP – 299/2001 – Relatório Técnico - "Verificação de reações expansivas nos empreendimentos da unidade de produção do Paraíba".
- [4] DESEK, Relatório de visita técnica às usinas hidrelétricas Jaguari, Paraibuna e barragem Paraitinga, Novembro, 2003.
- [5] CARNEIRO, E. F.; PINFARÍ, J. C.; CAPPI, T.P.A. Maintenance and Repairs on the Water Intake of Jaguari Hydropowerplant affected by AAR, 15º ICAAR, SÃO PAULO, 2016.

COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ABNT NBR 6118:2014

A publicação traz comentários e exemplos de aplicação da nova norma brasileira para projetos de estruturas de concreto - ABNT NBR 6118:2014, objetivando esclarecer os conceitos e exigências normativas e, assim, facilitar seu uso pelos escritórios de projeto.

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialistas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnologistas.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576244

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 484

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

AQUISIÇÃO:

www.ibracon.org.br

(Loja Virtual)



Patrocínio



RAA em estrutura de concreto armado de uma edificação residencial

ROMILDO ALVES BERENGUER – GRADUANDO DE ENGENHARIA CIVIL • LAUZANNE BARBOSA CORDEIRO – ENGENHEIRA CIVIL

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

TIBÉRIO ANDRADE – PROFESSOR DOUTORANDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PAULO HELENE – PROFESSOR DOUTOR

PhD – ENGENHARIA

ELIANA CRISTINA

BARRETO MONTEIRO – PROFESSORA DOUTORA

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

I. INTRODUÇÃO

Em outubro de 2004, após o colapso do edifício residencial de concreto armado Areia Branca, localizado na região metropolitana de Recife, surgiu uma grande preocupação em relação à qualidade construtiva e o estado de conservação das edificações residenciais e comerciais da região. Em junho de 2006, foi aprovada a Lei de inspeção (Lei nº 13.032), visando evitar que outras situações desse tipo ocorressem. Após implementação desta lei, as edificações começaram a passar por mais inspeções e descobriu-se que várias estruturas apresentavam diferentes casos de manifestações patológicas, dentre elas a reação álcali-agregado (RAA).

A RAA é uma reação lenta, que ocorre em estruturas de concreto, formada pela reação entre alguns minerais que compõem os agregados e hidróxidos alcalinos, oriundos do cimento. Este tipo de patologia compromete as características mecânicas do concreto, podendo haver perda de resistência à tração e à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2. ESTUDO DE CASO

A presente pesquisa abordará exclusivamente as análises feitas na fundação do edifício estudado, que apresentou reação álcali-agregado e passou por um processo de recuperação estrutural. A pesquisa contou com a execução das seguintes etapas:

- Relato dos ensaios realizados na mesoestrutura do edifício, tais como: levantamento das fissuras, da profundidade de carbonatação, do teor de íons cloreto;
- Relato dos serviços de inspeção visual nas faces das sapatas visualizadas após escavação, com a identificação e classificação das fissuras existentes;
- Ensaios de compressão nos testemunhos extraídos das sapatas;
- Descrição e dos procedimentos de recuperação estrutural.

2.1 Características da estrutura

O edifício residencial multifamiliar está localizado em Jaboatão dos Guararapes (PE), situado no nordeste do Brasil e foi construído há 12 anos. Possui sua

mesoestrutura formada basicamente por concreto armado, sendo apoiado sob fundação direta (superficial), ou seja, possui sapatas que estão apoiadas no solo, sobre uma camada de 5 cm concreto magro. O concreto estrutural especificado em projeto foi de 25Mpa.

2.2 Histórico de RAA na estrutura

A construção do edifício foi iniciada em 1998 e finalizada em 2002. Apreensivos com o desabamento do edifício Areia Branca, em 2004, os moradores do edifício analisado contrataram uma empresa para inspecionar o imóvel em 2005, em razão de algumas de suas sapatas apresentarem fissuras. Essas sapatas foram recuperadas com a injeção de resina epóxi rígida. Nesta primeira intervenção, a empresa contratada para recuperação não fez os ensaios necessários para o diagnóstico sobre as possíveis causas da fissuração das sapatas.

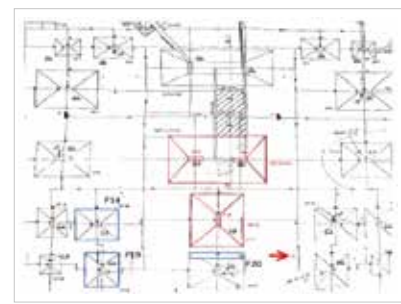
Em 2014, após 9 anos da primeira vistoria, foram realizadas visitas de profissionais da empresa especializada, com o intuito de investigar o estado de conservação da edificação como um todo e,



► **Figura 1**
Sapata SP (10+11) com fissuras
marcadas com giz



► **Figura 2**
Sapata (10+11) com fissuras
marcadas com giz na sua face
lateral



► **Figura 3**
Croqui esquemático com a
distribuição dos pilares e das
sapatas do edifício

caso necessário, estudar as alternativas consideradas adequadas para possíveis intervenções. Foram analisados os pilares, vigas, lajes, por meio de inspeção visual, e feitos ensaios de profundidade de carbonatação e de teor de cloretos. Além disso, as sapatas passaram por inspeções visuais e por ensaio de resistência à compressão, com extração de testemunhos e ensaios laboratoriais petrográficos.

As sapatas inspecionadas e recuperadas no passado apresentavam muitas trincas e fissuras (Figuras 1 e 2), ou seja, voltaram a ter o mesmo quadro de manifestação patológica. Desta forma, a empresa especializada solicitou o ensaio de resistência à compressão dessas sapatas e, após estudo do histórico da fundação, dos fatores ambientais e das características do edifício e diante dos ensaios realizados, chegou-se à conclusão de que a fundação apresentava o quadro de manifestação patológica conhecido como reação álcali-agregado.

Ficou decidido, devido ao alto custo do serviço, que a recuperação estrutural seria iniciada nas sapatas que já tinham sido recuperadas, correspondentes aos Pilares 10, 11 e 15 (destaque em vermelho na Figura 3) e, em seguida, seria dada a sequência à recuperação das outras sapatas.

2.3 Ensaios gerais realizados

Toda a estrutura do edifício passou por uma inspeção geral, não somente as

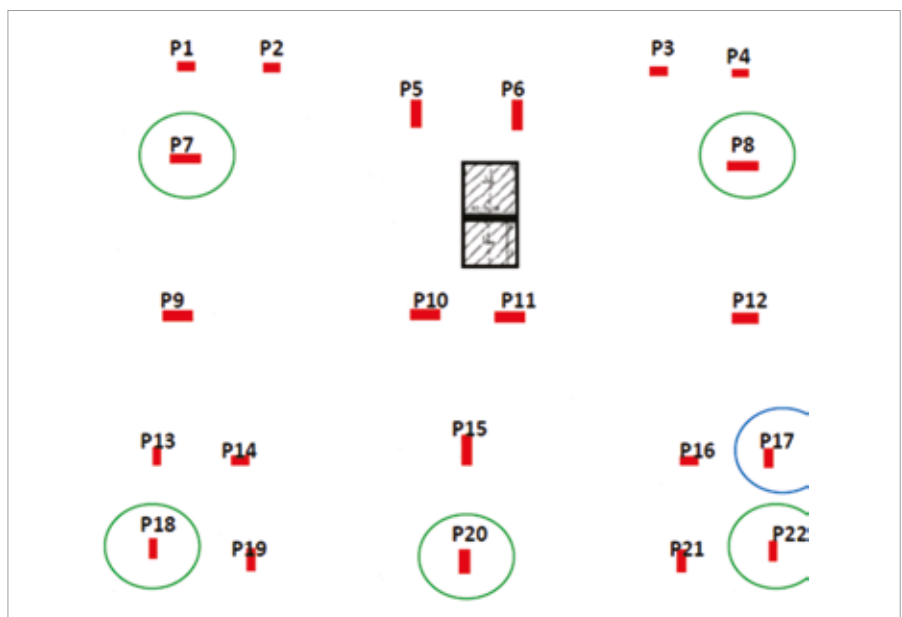
sapatas que compõe a fundação, a fim de identificar possíveis manifestações patológicas, para posterior correção. Assim, a empresa contratada para realizar o laudo técnico de vistoria predial, executou os seguintes ensaios nas estruturas:

- Inspeção visual;
- Avaliação da profundidade de carbonatação;
- Determinação do teor de íons cloreto;
- Resistência à compressão, através da extração de testemunhos.

Os ensaios de profundidade de carbonatação e teor de íons cloreto foram necessários para o método de avaliação do edifício, pois este é localizado numa área urbana a 100 metros do

mar e sofre grande influência dos agentes agressivos externos, como o gás carbônico e a maresia. O croqui apresentado na Figura 4 representa a distribuição estrutural do prédio e indica onde foram realizadas as coletas de materiais para a realização dos respectivos ensaios. A cor verde representa o ensaio de carbonatação e a azul o ensaio de cloretos, que foi realizado no Pilar 17, pois este é um dos mais expostos às intempéries vindas do ambiente de praia.

O ensaio para medir a profundidade de carbonatação (aspersão de solução alcoólica de fenolftaleína, que indica se houve variação do pH natural do

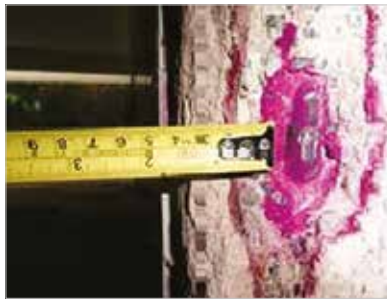


► **Figura 4**
Croqui esquemático das áreas dos ensaios



► **Figura 5**

Detalhe do trecho do pilar 7 onde foi realizado ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação



► **Figura 6**

Detalhe do ensaio para avaliação da profundidade de carbonatação



► **Figura 7**

Furo realizado no pilar para coleta de amostra para a determinação do teor de cloretos

concreto), usado para análise da passivação das armaduras, foi realizado conforme as recomendações da RILEM (CPC-18 – *Measurement of hardened concrete carbonation depth*, 1988). Este ensaio foi executado em 5 pilares de concreto armado presentes no pavimento de garagem térrea (Figuras 5 e 6).

Os resultados são apresentados na Tabela 1 e confirmam que todos os pilares se encontram passivados (protegidos) no tocante à ação do gás carbônico, tendo em vista que o avanço da profundidade de carbonatação foi menor, em todos os casos estudados, que o recobrimento da armadura. Vale salientar que a quase totalidade das amostras estudadas apresentou profundidade de carbonatação nula.

O ensaio de perfil de cloretos determina, em porcentagem, a concentração de íons cloreto por massa de cimento. O ensaio foi realizado conforme o método da ASTM C 1152 – *Standard Method For Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*, (2012) – e sua execução está apresentada na Figura 7.

Apesar dos valores encontrados (Tabela 2) indicarem maiores concentrações de íons cloreto na região mais interna quando comparada com a mais externa, os dois casos estudados têm concentrações significativamente abaixo do limite máximo encontrado na literatura e recomendado por norma ABNT NBR 12655 (2015) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento, para estruturas

de concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido de umidade nas condições de serviço da estrutura). As regiões mais profundas, próximas à armadura dos dois pilares, apresentam menos da metade da concentração de íons cloreto totais em relação à massa de cimento recomendados pela ABNT NBR 12655 (2015). Os resultados obtidos indicam que para os elementos analisados por amostragem, P13 e P17, a armadura encontra-se passivada (protegida) no tocante ao ataque por cloretos.

Para o ensaio de resistência à compressão, foram extraídos 6 testemunhos por amostragem das sapatas SP 10+11 e SP 15 e mais 6 das sapatas SP 14, 19, 20, obedecendo a norma ABNT NBR 7680 (2007) - Concreto: Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Os testemunhos também passaram por uma análise visual para avaliação do concreto (Figuras 8 e 9). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3 comprovam que a resistência à compressão obtida no ensaio é muito superior ao F_{ck} indicado no projeto estrutural do edifício (25 Mpa).

2.4 Procedimento de recuperação das sapatas

O procedimento de recuperação das sapatas seguiu as etapas constantes na Figura 10 e está descrito nos subitens a seguir.

► **Tabela 1 – Profundidade de carbonatação do concreto**

Peça ensaiada	Local	Orientação da face	Recobrimento da armadura (mm)	Profundidade de carbonatação (mm)
Pilar 7	Térreo	Norte	23	11
Pilar 7	Térreo	Leste	24	10
Pilar 8	Térreo	Oeste	30	0
Pilar 8	Térreo	Norte	40	0
Pilar 18	Térreo	Leste	35	0
Pilar 18	Térreo	Sul	25	0
Pilar 20	Térreo	Norte	35	0
Pilar 20	Térreo	Oeste	30	0
Pilar 22	Térreo	Oeste	15	0
Pilar 22	Térreo	Sul	20	0



► **Figura 8**
Corpos de prova obtidos do edifício em estudo de caso

2.4.1 ESCAVAÇÃO DAS SAPATAS

A escavação dos blocos seguiu a NR 18 (2013) - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, visando à segurança do ambiente de trabalho e dos funcionários envolvidos no serviço. A Figura 11 ilustra o momento em que as sapatas estavam passando pelo processo de escavação.

2.4.2 LIMPEZA DAS FACES DA SAPATA E EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA PARA ANÁLISE LABORATORIAL

Depois de escavadas as faces das sapatas, foi realizado o procedimento de limpeza com a lavagem da estrutura, utilizando um equipamento de jato de alta pressão para melhor visualiza-



► **Figura 9**
Aspecto visual do concreto do testemunho

► **Tabela 2 – Concentração de íons cloreto em amostras extraídas dos pilares**

Amostra (face)	Localização	Profundidade	% Cloretos (massa de concreto)	% Cloretos (massa de cimento)
Pilar 17 (leste)	Térreo	0-5 mm	0,0069	0,0483
Pilar 17 (leste)	Térreo	5-15 mm	0,0074	0,0518
Pilar 17 (leste)	Térreo	15-25 mm	0,0138	0,0966
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	0-5 mm	0,008	0,056
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	5-15 mm	0,0056	0,0392
Pilar 13 (Sul)	Pilotis	15-25 mm	0,0083	0,0581

ção das trincas e fissuras.

Após as faces das sapatas estarem limpas, foram retirados corpos-de-prova, com o auxílio de um equipamento denominado serra-copo, para que fosse verificado se as fissuras foram causadas pela RAA, bem como analisar se a resistência da estrutura estava compatível com a estipulada em projeto.

Também foi feita a demarcação das fissuras (Figuras 12 e 13) para posterior análise das respectivas aberturas e orientação delas, cujos dados encontram-se na, sendo criada a Tabela 4, para as Sapatas SP (10+11) e SP 15.

2.4.3 SOPRAGEM DAS TRINCAS E FISSURAS

A etapa consistiu em retirar da área que recebeu anteriormente o epóxi todo material pulverulento, proveniente

► **Tabela 3 – Resumo das resistências à compressão**

Nº	Resistência à compressão (Mpa)	Sapata
1	33,1	SP15
2	31,4	SP15
3	32,3	SP15
4	40,7	SP(10+11)
5	38	SP(10+11)
6	43	SP(10+11)
7	40,5	SP14
8	39,9	SP14
9	42,9	SP19
10	45	SP19
11	34,3	SP20
12	34,7	SP20



► **Figura 10**
Fluxograma das etapas de recuperação das sapatas





► **Figura 11**
Serviço de escavação das sapatas

dos furos realizados nas trincas e fissuras. É importante lembrar que a retirada desse material deve ser feita com a injeção de ar comprimido e não com água, pois caso seja feita com água, não haverá aderência suficiente entre a superfície afetada e o epóxi.

2.4.4 FURAÇÕES DAS TRINCAS PARA COLOCAÇÃO DE PURGADORES

Purgadores são mangueiras plásticas transparentes com diâmetro de 10 mm, que são posicionadas ao longo das trincas e fissuras, através dos quais



► **Figura 12**
Mapeamento das trincas e fissuras

► **Tabela 4 – Quantidades de fissuras encontradas inicialmente**

Sapata	Quantidade de fissuras encontradas	Menor abertura encontrada	Maior abertura encontrada
SP (10+11)	45	0,6 mm	35 mm
SP 15	24	0,5 mm	3,5 mm

é injetada a pasta de microcimento à base de resina epóxi. Porém, existiam trincas que não possuíam abertura igual ou maior que 10 mm. Nelas foi realizado o furo utilizando uma furadeira, com profundidade de aproximadamente 100 mm, para que os purgadores ficassem devidamente fixados.

Depois dos procedimentos de furo, sopragem e limpeza das trincas e fissuras, foram colocados os purgadores, que ficaram espaçados aproximadamente 250 mm uns dos outros e penetraram 90 mm (Figura 14). A parte do purgador introduzida ficou no mesmo sentido da trinca e a parte que ficou exposta tinha o intuito de receber o material a ser injetado, a pasta de microcimento.

2.4.5 COLMATAÇÃO DAS TRINCAS E FISSURAS

Para recuperar as trincas que possuíam abertura maior que 10 mm, foi preferível utilizar o graute, com as características de ser isentos de retração, ter rápido ganho de resistência e liberação para o uso, foi utilizado a quantidade de água que seria suficiente para deixar a argamassa trabalhável, visto que o custo do epóxi sairia muito elevado para a recuperação das sapatas do condomínio.

Já, para a colmatação superficial, que evita a saída do material inserido no interior da estrutura, foi utilizado uma mistura de epóxi e caulim, pois o



► **Figura 13**
Fissura na sapata com abertura de 30 mm

epóxi, por ser muito fluido, escorreria na face das sapatas, não atendendo à função de fechar as fendas. A mistura foi aplicada modelando o material sobre as fendas e entorno dos purgadores, preenchendo e fechando o restante dos espaços (Figura 15).

2.4.6 LAVAGEM DAS TRINCAS E FISSURAS

Passadas 24 horas após o serviço de fechamento externo das trincas e fissuras foi realizada a lavagem interna dessas, com a injeção de água sobre pressão para remoção de possíveis detritos.

2.4.7 INJEÇÃO DE PASTA DE MICROCEMENTO NAS TRINCAS E FISSURAS

O procedimento de injeção é iniciado nas camadas de baixo, fazendo com



► **Figura 14**
Purgadores na sapata



► **Figura 15**
Colmatação das trincas e fissuras



► **Figura 16**
Malha de aço para encapsulamento da sapata



► **Figura 17**
Sapata concretada

que o ar seja expulso nos purgadores das camadas superiores, garantindo, assim, o máximo de preenchimento dos espaços vazios no interior das trincas.

Quando é observado que o excesso do microcimento está esborrando nos purgadores da camada superior, estes são fechados com arame 18 e, dessa maneira, com a pressão do material que está sendo injetado na estrutura, os demais espaços vazios passam a ser preenchidos. O procedimento se repete até que todos os purgadores estejam fechados.

Após 5 dias, os purgadores são cortados rente a face da sapata. Não se pode assegurar que todas as trincas foram totalmente preenchidas pela pasta de microcimento, pois, apesar de todos os cuidados tomados, ao longo dos anos foram depositadas quantidades de areia ou outro material, que, possivelmente, se solidificou na face interna das trincas e fissuras.

Mesmo sabendo que a situação de transmissão de esforços não será totalmente garantida, é necessário que se preencha ao máximo as trincas e fissuras para precaver a estrutura quanto a

possíveis manifestações patológicas, como corrosão das armaduras ou novas expansões.

2.4.8 ENCAPSULAMENTO DAS SAPATAS

Decidiu-se que o reforço das sapatas seria dado por encapsulamento, conforme projeto estrutural fornecido por empresa especializada no ramo. As etapas do reforço estrutural seguiram as seguintes fases:

- Furação e apicoamento da sapata de concreto. Os furos foram executados com diâmetro de 12,5 mm, espaçados a cada 15 cm, e a superfície da sapata foi arranhada e apicoada;
- Colocação das barras e tela de aço. As barras de aço com 12,5 mm de diâmetro foram inseridas cerca de 30 cm nos furos feitos; foi colocada uma tela soldada Q503 sobre a superfície tronco piramidal com grampos no concreto, conforme ilustrado na Figura 16;
- Foi realizada uma aplicação do adesivo estrutural à base de resina nas superfícies de união do concreto,

30 minutos antes da concretagem;

- Concretagem das sapatas (Figura 17).

As vantagens desse método escolhido foram:

- Restringir ao máximo a expansão;
- Boa capacidade para impedimento de passagem de água;
- Maior durabilidade do reforço estrutural.

3 CONCLUSÕES

Através das vistorias e histórico da edificação em análise foi constatado o quadro da reação álcali-agregado nas sapatas do edifício.

O serviço de recuperação foi incompleto, pois, ao final do encapsulamento das sapatas, estas não foram impermeabilizadas, o que pode facilitar a penetração de agentes externos agressivos e umidade.

O método descrito neste trabalho é o mais utilizado e conhecido até o presente momento para recuperação de reação álcali-agregado, porém ele não é totalmente eficaz. A prova disso, é que algumas sapatas que já haviam sido recuperadas anteriormente mas, após alguns anos, voltaram a apresentar as fissuras. ➤

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM C 1152/2012: Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. Philadelphia, 2012.
- [2] NBR 12655/2015: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] NBR 7680/2007: Concreto: Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- [4] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2014
- [5] RILEM RECOMMENDATIONS. CPC-18. Measurement of hardened concrete carbonation depth. 1988.
- [6] NR 18/2013: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Rio de Janeiro, 2013.

Participe do principal evento de
pavimentação urbana do país.

**20^a
RPU**  **2017**
28 a 30
de junho
Reunião de Pavimentação Urbana
CentroSul - Florianópolis/SC

Florianópolis, a bela capital catarinense, será palco da
20ª Reunião de Pavimentação Urbana que acontecerá no
período de 28 a 30 de junho de 2017.

Esperamos por você!

Temário para trabalhos técnicos

- ◆ Financiamento aos municípios
- ◆ Segurança e Meio Ambiente em Vias
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ SMS (Saúde do Trabalho, Meio Ambiente e Segurança do Trabalhador)
- ◆ Manutenção, Restauração e Gerência de Vias
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Técnica de Construção e Controle de Qualidade de Pavimentos
- ◆ Estradas Vicinais

Para mais informações: www.rpu.org.br

Realização



Apoio



Local



Organização



58º Congresso Brasileiro do Concreto acontece em outubro

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON promove, de 11 a 14 de outubro, em Belo Horizonte, o 58º Congresso Brasileiro do Concreto, fórum nacional de divulgação e debates sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos.

O evento objetiva divulgar as pesquisas científicas, tecnológicas e as inovações sobre o concreto e as estruturas de concreto, em termos de materiais e suas propriedades, gestão e normalização, análise e projeto estrutural, métodos e sistemas construtivos, controle tecnológico, ensaios destrutivos e não destrutivos, e sustentabilidade.

Em média, serão apresentados aproximadamente 600 trabalhos científicos por pesquisadores de universidades, institutos de pesquisa e centros de desenvolvimento e inovação de empresas, nacionais e estrangeiros.

Os destaques da programação são os palestrantes internacionais: o pesquisador Donald Macphee (Universidade de Aberdeen, Escócia) vai abordar a físico-química das adições no concreto; Hugo Corres Peiretti (Universidade Politécnica de Madri) vai destacar o papel do concreto para a construção de um mundo mais sustentável; e Robert Stark (Instituto Americano do Concreto, Estados Unidos) apresentará detalhes de projeto de edifícios altos no México. Vão integrar o evento:

► III Seminário sobre pesquisas e obras em concreto autoadensável, que contará com palestras dos pesquisadores norte-americanos Joseph Daczko (gerente de produto da Basf e autor do livro *“Self Consolidating Concrete: Applying what*

we know”) e Kamal Khayat (professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Ciência e Tecnologia do Missouri);

- II Seminário sobre obras emblemáticas, no qual engenheiros apresentarão os desafios de projeto e execução do Museu da Imagem e do Som, Museu do Amanhã e Teatro Digital, entre outras obras;
- I Simpósio sobre ensaios não destrutivos para avaliação de estruturas de concreto;
- I Seminário sobre ensino de Engenharia Civil, que vai debater a qualidade e atualidade do ensino de engenharia civil no país, com vistas a gerar propostas de projetos de mudança da legislação que rege os currículos de graduação e pós-graduação no Brasil;
- I Seminário sobre melhores práticas na execução de estruturas de concreto.

Concursos técnicos entre estudantes de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia vão ter lugar na Arena das Competições. O objetivo desses concursos é fazer o estudante aplicar o conhecimento adquirido nas aulas para confecção de uma bola resistente de concreto (Concrebol), um pórtico de concreto capaz de resistir aos impactos dinâmicos (Aparato de Proteção do Ovo), um corpo de prova cúbico colorido (Concreto colorido de alta resistência) e um projeto arquitetônico e estrutural de uma passarela de concreto (Ousadia).



A cada edição do Congresso, realiza-se a Feira Brasileira das Construções em Concreto - Feibracon, espaço de exposição para os produtos e serviços das empresas da cadeia produtiva do concreto. Adicionalmente, as empresas patrocinadoras do evento têm a chance de apresentar palestras técnico-comerciais no Seminário das Novas Tecnologias, que também compõe a programação.

Por fim, serão também oferecidos os cursos “Projeto de lajes em concreto armado e protendido”, “Ensaios destrutivos e não destrutivos para avaliação de estruturas de concreto” e “Estruturas pré-fabricados de concreto”.

O Congresso Brasileiro do Concreto é aberto aos profissionais em geral do setor construtivo, tecnologistas de concreto, projetistas de estruturas, professores e estudantes de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia, profissionais técnicos de construtoras, empresas de energia, fabricantes de equipamentos e materiais para construção, laboratórios de controle tecnológico, órgãos governamentais e associações técnicas.

Nas últimas edições, o evento contou com a participação de cerca de 1000 inscritos.

Mais informações: www.ibracon.org.br.



Concursos estudantis na Regional de Tocantins

Durante a VI Jornada do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (Ceulp), ocorrida de 16 a 19 de maio, com o objetivo de proporcionar aos estudantes e profissionais atualização do conhecimento técnico e científico, foram realizadas compe-

tições estudantis Concrebol, Cocar e Ponte de Macarrão.

Os concursos regionais Concrebol e Cocar tiveram o intuito de capacitar os alunos para as competições nacionais, realizadas pelo Instituto Brasileiro do Concre-



to (IBRACON), durante as edições do Congresso Brasileiro do Concreto. O Concrebol demanda do estudante conhecimento e técnica para confecção de uma bola de concreto simples, que seja resistente à compressão. O Cocar testa a habilidade dos estudantes na preparação de corpos de provas de concretos coloridos, capazes de atingir altas resistências à compressão. Já, a competição “Pontes de Macarrão” é realizada em diversas instituições superiores de ensino pelo país, estabelecendo relação com os assuntos teóricos da disciplina “Resistência dos Materiais”. Na última edição dos concursos do IBRACON, a equipe do Ceulp ficou em quinto lugar no Cocar e sexto lugar no Concrebol.

O diretor de eventos do IBRACON, Prof. Bernardo Tutikian, autor do livro “Concreto autoadensável”, publicado

pela PINI, palestrou na VI Jornada sobre o tema “Tecnologia do concreto autoadensável”.

► Concrebol

1º lugar	EQUIPE CEULP André Soares, Eduarda Suelen, João Matheus, Kaio Vilela, e Yhago Borges Q = 25.292,00 Kgf r = 0,115 m Massa = 9,27 kg NF = 12,7320)
2º lugar	EQUIPE DO INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DA CIDADE DE PORTO NACIONAL (ITPAC) Jonathas Gabryel, Lays Oliveira, Thais Cristina, Bruno de Sousa e José Mecenas Q = 18.983,00 Kgf r = 0,115 m Massa = 9,20 kg NF = 12,7320
3º lugar	EQUIPE CEULP Ariane Samanda, Átila Noleto, Augusto Ivan e Dayelle Elias Q = 19.373,00 Kgf r = 0,115 m Massa = 9,70 kg NF = 12,7235

► Cocar

1º lugar	EQUIPE CEULP Ariane Samanda, Átila Noleto, Augusto Ivan e Dayelle Elias Fck = 69,80 Mpa C = 1,0 NF = 69,80)
2º lugar	EQUIPE CEULP Ana Clara, Diego Araújo, Fabrício José, Lídia Georgiana, Lucas Kaique e Sandra Andreia Fck = 74,60 Mpa C = 0,90 NF = 67,14
3º lugar	EQUIPE CEULP Aníbal Hermício, Gabriela Ferreira, Hiago Gringel, Hiromu Bringel, Maria Thays e Mateus Maurício Fck = 57,80 Mpa C = 1,0 NF = 57,80

Regional Mato Grosso do Sul

A Regional apoiou a sexta edição do Encontro sobre Tecnologia do Concreto (ETEC 2016), realizado em 17 de junho, na Universidade Federal de Mato Grosso. O evento debateu o concreto com fibras, com palestra do secretário do IBRACON, Prof. Antonio de Figueiredo.



Palestra na Regional do Rio de Janeiro

Decorrente de parceria entre a Regional IBRACON, a Regional ABECE e o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, a palestra “Resistência do concreto em estruturas existentes para fins de verificação da segurança estrutural” foi proferida no dia 12 de julho, no Clube de Engenharia, pelo Prof. Paulo Helene, diretor de relações institucionais do IBRACON.

Com participação de 300 profissionais e estudantes, a palestra foi prestigiada pelo presidente do IBRACON, Julio Timerman, pelo pre-



sidente do Clube de Engenharia, Pedro Pereira Filho, pelo projetista Bruno Contarini, entre muitas outras persona-

lidades ilustres da área. A coordenação coube ao diretor regional do IBRACON, Robson Veiga.

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



ANTONIO CARLOS ZORZI

SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

Autor: Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 195

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:

www.ibracon.org.br

(Loja Virtual)

58 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

BELO HORIZONTE . MG . 11/10 a 14/10 . 2016

INSCRIÇÕES
ABERTAS!

Ponto de encontro dos profissionais e das EMPRESAS BRASILEIRAS DA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO

PALESTRANTES CONFIRMADOS

- ▶ **Bruno Contarini** (BC Engenharia)
- ▶ **Donald Macphree** (Universidade de Aberdeen, Escócia)
- ▶ **Hugo Corres Peirreti** (FHECOR, Espanha)
- ▶ **Joseph Daczko** (BASF, EUA)
- ▶ **Kamal Khayat** (Universidade do Missouri, EUA)
- ▶ **Robert Stark** (ACI)

- ▶ Apresentação de Trabalhos Técnico-científicos
- ▶ Concursos Técnicos Estudantis
- ▶ Simpósio Sobre Ensaio Não Destrutivo para Avaliação de Estruturas de Concreto
- ▶ Seminário Sobre Ensino de Engenharia Civil
- ▶ Seminário sobre Boas Práticas na Execução de Estruturas de Concreto
- ▶ Seminário Sobre Obras Emblemáticas
- ▶ Seminário Sobre Pesquisas e Obras em Concreto Autoadensável
- ▶ XII Feira Brasileira das Construções em Concreto – FEIBRACON

TEMAS

- ▶ Gestão e Normalização
- ▶ Materiais e Propriedades
- ▶ Projeto de Estruturas
- ▶ Métodos Construtivos
- ▶ Análise Estrutural
- ▶ Materiais e Produtos Específicos
- ▶ Sistemas Construtivos Específicos
- ▶ Sustentabilidade

CURSOS

- ▶ Ensaio destrutivo e não destrutivo para avaliação de estruturas de concreto
- ▶ Estruturas pré-fabricadas de concreto
- ▶ Projeto de lajes em concreto armado e protendido

REALIZAÇÃO

REALIZAÇÃO



(11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

facebook.com/ibraconOffice

www.ibracon.org.br

twitter.com/ibraconOffice

Cuidando de cada detalhe, se constrói tranquilidade.

Cada estrutura e projeto possui necessidades específicas, seja na sua construção ou manutenção. E quando há vidas envolvidas cada detalhe é fundamental, por isso estamos sempre ao seu lado, da especificação até a aplicação, fornecendo soluções individuais e inovadoras. Porque para nós o importante é que você fique tranquilo.

MC. Construir é cuidar.

MC para: Indústria do Concreto | Infraestrutura & Indústria | Edificações | Consumidor

Nosso novo propósito **“Construir é cuidar”** reflete o impacto da construção nas vidas e reputações das pessoas. É por isso que trabalhamos todos os dias, cuidando de cada produto, cada detalhe, para que no final você fique tranquilo e tenha certeza que fez a escolha certa.

Atuando há mais de 50 anos em cerca de 40 países, a MC-Bauchemie está presente nas maiores obras de infraestrutura do mundo. Conta com uma extensa linha de produtos e soluções com a mais alta tecnologia alemã, direcionados ao aperfeiçoamento do concreto, proteção, impermeabilização e recuperação das estruturas.



Veja de perto o conceito **“Construir é cuidar”**.
Acesse o QR-Code ao lado ou visite nosso site:
www.mc-bauchemie.com.br/construir-e-cuidar

