

CHAPTER I

TREATMENT OF CRACKS IN RESIDENTIAL BUILDING FOUNDATION – CASE STUDY

TRATAMENTO DE FISSURAS EM FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO

DOI: 10.51859/ampla.sset.2224-1

Amanda Grazielle Rodrigues de Arruda ¹

Carlos Felipe Aschoff Fernandes ²

Laiane Maria de Carvalho ³

Maria Eduarda Santana de Melo ⁴

Eliana Cristina Barreto Monteiro ⁵

Marina Didier Pedrosa de Amorim ⁶

Alexandre Duarte Gusmão ⁷

^{1, 2, 3, 4} Mestrandos do Programa de Pós-graduação em Degradação e Recuperação das Estruturas de Concreto – UPE

⁵ Professora na Universidade de Pernambuco – UPE e na Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP

⁶ Professora na Universidade de Pernambuco - UPE

⁷ Professor na Universidade de Pernambuco - UPE.

ABSTRACT

This work, carried out through a case study of a residential building that presented, only on visual inspection, characteristics of the pathological manifestation Alkali-Aggregate Reaction (AAR), accompanied a treatment work on foundation blocks with photographic records and data collection during execution of the service. The treatment carried out was injection of epoxy resin to fill the cracks and waterproofing through crystallization. It was concluded that it cannot be said that the cause of the cracks in the blocks was the RAA, as no specific tests were carried out and that the structures must be monitored every 5 years to check whether the cracking condition has returned.

Keywords: Alkali Aggregate Reaction. Foundation. Injection of epoxy resin.

RESUMO

Este trabalho realizado através de estudo de caso de um edifício residencial que apresentou, apenas em inspeção visual, características da manifestação patológica Reação Álcali-Agregado (RAA), acompanhou uma obra de tratamento de blocos de fundação com registros fotográficos e coletas de dados no decorrer da execução do serviço. O tratamento realizado foi injeção de resina epóxi para preenchimento das fissuras e impermeabilização por cristalização. Chegou-se à conclusão de que não se pode afirmar que a causa das fissuras nos blocos foi a RAA, pois não foram realizados ensaios específicos e que deve ser feito o acompanhamento das estruturas a cada 5 anos para constatar se o quadro fissuratório reincidiu.

Palavras-chave: Reação Álcali Agregado. Fundação. Injeção de resina epóxi.

1 INTRODUÇÃO

A reação Álcali-Agregado é uma manifestação patológica que ocorre no concreto e em argamassas, na qual o álcali do cimento reage com o agregado reativo na presença de água e resulta na formação de um gel expansivo, provocando tensões de expansão internas ao bloco de coroamento. Com isso, fissuras em forma de mapa aparecem na estrutura, causando diversos problemas, como, nos piores casos, o colapso da estrutura. Segundo Otoch (2016), ainda que o cimento seja o principal contribuinte com os álcalis no concreto, outras fontes não podem ser desconsideradas como, por exemplo, a água de amassamento, aditivos, adições minerais e, até mesmo, minerais de alguns agregados.

Segundo Lopes (2004), para que a RAA ocorra em estruturas de concreto são indispensáveis os seguintes fatores: concentração de hidróxidos alcalinos suficientes na solução dos poros do concreto para reagir com o agregado, agregados reativos e umidade. Na ausência de qualquer um desses três fatores, a reação não ocorrerá.

Quando o agregado reativo é à base de sílica, ocorre a reação álcali-sílica (RAS) e quando o agregado reativo é à base de carbonato, ocorre a reação álcali-carbonato (RAC), segundo José do Patrocínio e Tibério Andrade (2007). Ressalta-se que a grande maioria dos casos relatados são de RAS, inclusive no Brasil.

No mundo, há casos de RAA em países como Estados Unidos, Canadá, Japão, Holanda, Argentina e Inglaterra. São mais de 35 países, incluindo o Brasil. De acordo com Otoch (2016), a ocorrência da expansão por RAA, até anos atrás, era de principal incidência em obras de grande porte, como barragens e partes de usinas hidrelétricas. O primeiro caso de RAA na cidade do Recife-PE, em fundações foi na Ponte Paulo Guerra, localizada no bairro do Pina, na foz do Rio Jiquiá, que permite acesso à zona sul da cidade do Recife, a qual foi construída em 1977. Segundo Patrocínio e Andrade, pouco antes do ano 2000, os blocos de fundação da ponte Paulo Guerra, que ficam aparentes quando o nível da maré é rebaixado, passaram a mostrar fissuração intensa em suas faces. O tratamento dos blocos de fundação da ponte foi inicialmente com injeção de resina epóxi e, posteriormente, com a técnica de injeção de microcimento. Devido à grande umidade retida no interior das fissuras, essa troca foi necessária. Além disso, uma camada de revestimento impermeável foi aplicada em toda a estrutura da ponte para barrar a umidade, evitando, assim, que a reação continuasse expandindo.

Na cidade do Recife a preocupação em relação à RAA em fundações de edifícios, deu-se com a queda do edifício Areia Branca, com 12 pavimentos, localizado na cidade de Jaboatão dos Guararapes. O colapso não ocorreu devido a essa manifestação patológica, mas ao cair, atingiu os prédios próximos e realizaram investigações em suas fundações, constatando a presença da RAA. A partir daí, intensificou-se o estudo abordando o assunto e, através da manutenção preventiva, os condomínios começaram a investigar as fundações, por se tratar de um problema silencioso e que ocorre lentamente.

Um edifício residencial localizado no bairro de Boa Viagem - Recife, apresentou em sua fundação, a patologia de Reação Álcali-Agregado. Foi realizado um laudo em 2014 que constatou, através de inspeção visual, a presença de fissuras em forma de mapa nos blocos e que eles se encontravam sem sistema de impermeabilização e que a edificação está inserida num meio com classe de agressividade ambiental III que pela NBR 6118/2014 é caracterizada como agressividade forte e risco de deterioração da estrutura grande.

A solução encontrada para esse edifício, segundo o laudo técnico, foi a aplicação de injeção de resina epóxi nas fissuras, para total preenchimento delas e, posteriormente, impermeabilização dos blocos por cristalização. Segundo Takagi e Júnior (2014), corroboram que a resina a base epóxi é bastante resistente a esforços de compressão e tração, com resistência da ordem de 60 a 100 MPa e de 30 a 50 MPa, respectivamente, sendo indicado para recuperar a monoliticidade de elemento estrutural. Além disso, segundo Takagi e Júnior (2004), afirmam que o tratamento químico cristalizante se define como sendo um processo físico-químico que visa preencher as porosidades e capilaridades características da microestrutura do concreto, desencadeando um processo catalítico de formação de cristais não solúveis e não tóxicos.

O processo se dá através da reabertura e limpeza das fissuras, para realização da colmatação e selamento com componder adesivo epóxi. As fissuras não podem estar com poeira nem molhadas para que haja o total fechamento. São colocados bicos de metal a cada 10 centímetros no decorrer das fissuras, presos pela colmatação. É por esses bicos que entra a resina epóxi. Dessa forma, as fissuras são preenchidas e o bloco de fundação tem a sua monolitização concluída. Após o preenchimento das fissuras, os blocos são impermeabilizados com um impermeabilizante cristalizante. Esse sistema de impermeabilização é indicado para

estruturas que ficam em contato direto com a água, pois cristais são formados em seus poros e pode ser aplicada como uma pintura nos blocos. Como se sabe, a RAA não possui tratamento definitivo, então os tratamentos existentes são paliativos, dessa forma se faz necessário colocar uma janela de inspeção para analisar se a reação continua acontecendo ou não. Então, após a impermeabilização, o piso é refeito e a janela é colocada.

Neste estudo foi analisada a recuperação de fundações com quadro fissuratório através do sistema de injeção de resina estrutural e impermeabilização por cristalização. O sistema de injeção de resina epóxi tem como finalidade recompor a estrutura de concreto “colando-a” e promovendo a monoliticidade da estrutura, além de proteger as estruturas de concreto. Suas características são resistência à compressão de 80 a 100 Mpa, resistência à tração de 40 a 60 MPa, excelente aderência, boa durabilidade, não retrátil, baixa viscosidade, resistente a agentes agressivos e mantêm as características básicas mesmo quando carregadas.

Também foi acompanhada a aplicação da impermeabilização por cristalização que consiste na aplicação de um material impermeabilizante aplicado superficialmente, que impermeabiliza e protege o concreto em profundidade penetrando nos poros. Composto de cimento Portland, areia de quartzo especialmente tratada e compostos químicos ativos, que necessita somente ser misturado com água antes da aplicação. Quando o material cristalizante é aplicado na superfície do concreto, os componentes químicos ativos reagem com os compostos da pasta de cimento e com a umidade presente nos capilares do concreto para formar uma estrutura cristalina insolúvel, esses cristais preenchem os poros e fissuras de retração do concreto para prevenir qualquer ingresso de água, mesmo sob pressão.

2 ESTUDO DE CASO

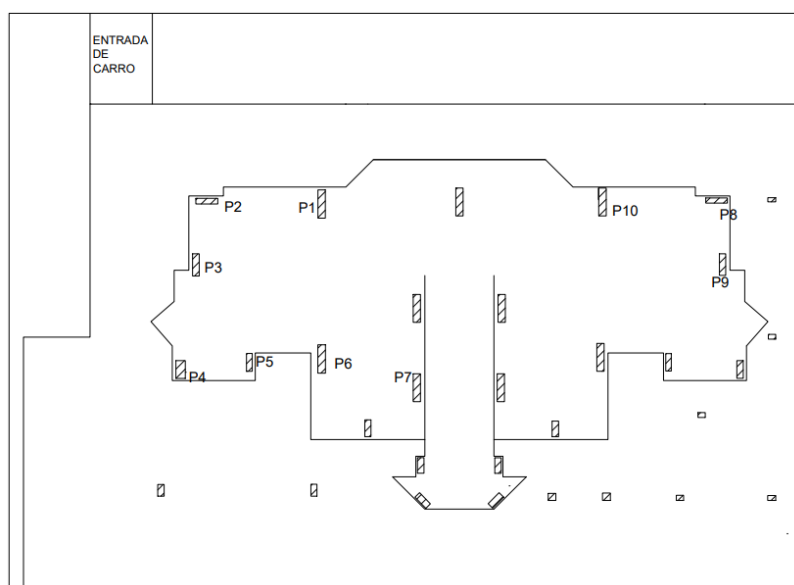
Acompanhamento de uma obra de tratamento e reparo de fundação com quadro fissuratório de um edifício residencial localizado no bairro de Boa Viagem, na cidade do Recife. As fissuras presentes nas estruturas continham forma de mapa, característica da Reação Álcali-Agregado. O tratamento foi feito com injeção de resina epóxi para preenchimento das fissuras e impermeabilização por cristalização dos blocos de coroamento. Foram escolhidos os blocos para análise e estudo, de onde partem os pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10, ou seja, foram escolhidos dez blocos. O tratamento foi acompanhado do início ao fim, sendo da demolição do

piso velho à execução do piso novo. Em seguida, os dados sobre o edifício foram coletados, como planta baixa do pavimento tipo com os pilares de sustentação e os laudos técnicos realizados por uma empresa de excelência em perícia e execução de laudos. Foi realizado um acervo fotográfico, de todas as etapas do tratamento. Ao fim do tratamento, foram analisados os resultados.

O edifício objeto deste estudo de caso se localiza no bairro de Boa Viagem, na cidade do Recife e é composto por 22 pavimentos, sendo 1 pavimento térreo onde se encontra a guarita e estacionamento, 1 pavimento apenas de estacionamento, 1 pavimento para a área de lazer, 18 pavimentos tipo (sendo 2 apartamentos por andar) e 1 pavimento de cobertura e está inserido num meio com classe de agressividade ambiental III, que pela NBR 6118/2014 é caracterizada como agressividade forte e risco de deterioração da estrutura grande.

A estrutura da edificação possui 23 pilares de sustentação e 23 blocos de fundação (Figura 1). Através de um laudo técnico realizado em 2014, por empresa especializada em diagnósticos, suspeitou-se da presença da manifestação patológica Reação Álcali-Agregado nos blocos de fundação, devido ao quadro fissuratório em forma de mapa encontrado nas fundações. Não foram realizados ensaios complexos, apenas inspeções visuais, dessa forma o laudo técnico não confirmou, de fato, a presença da RAA.

Figura 1 - Planta baixa do pavimento tipo com os pilares locados



Fonte: Os autores

O tratamento indicado no laudo técnico foi a injeção de resina epóxi e a impermeabilização por cristalização. Foram escolhidos 10 blocos para a realização desse estudo de caso. O processo da manutenção corretiva se deu de forma similar em todos os blocos, ressaltando que alguns blocos tiveram situações especiais como recuperação estrutural do pilar ou armadura exposta no próprio bloco. Começou-se a obra de manutenção corretiva pelo Bloco 1, do qual parte o Pilar 1. Primeiro liberou-se todo o bloco através da escavação e abertura de espaço ao seu redor para que os funcionários da empresa escolhida pelo condomínio, para realizar a intervenção, pudessem realizar o serviço de forma confortável e sem interferências. Foi aberto um vão com 1,0 metro de largura ao redor de todo o bloco. Em seguida, com uma máquina de alta pressão, lavou-se a fundação para retirada de terra e sujeiras. Com uma esmerilhadeira, lixou-se o bloco para melhor visualização das fissuras e para abertura dos poros do concreto. Com um fissurômetro foi possível analisar o dimensionamento das fissuras.

Ao escavar e deixar a fundação aparente, foi constatado a presença de fissuras e armadura exposta com corrosão (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2 - Fissuras no Bloco 1



Fonte: Os autores

Figura 3 - Fissuras e armadura exposta no Bloco 1



Fonte: Os autores

Constatou-se que no Bloco 1 existiam fissuras entre 0,4 e 0,8 milímetros, analisadas com o uso de um fissurômetro (Figura 4, Figura 5). Fissuras com até 0,4 milímetros não precisam de intervenção de injeção de resina epóxi, sendo suficiente apenas a impermeabilização por cristalização. Já as maiores de 0,4 milímetros precisam. De acordo com Ripper e Souza (1998), a técnica de injeção de fissuras garante seu preenchimento, sendo que nas passivas, aquelas que não se desenvolvem com o tempo, indicam-se materiais rígidos como epóxi ou grautes, e para fissuras ativas injeta-se resinas acrílicas e poliuretânicas. Os autores ressaltam que essa técnica deve ser utilizada em fissuras com abertura superior a 0,4 mm.

Figura 4 - Fissura com 0,4mm



Fonte: Os autores

Figura 5 - Fissura com 0,8 mm



Fonte: Os autores

Em seguida foi realizada a reabertura das fissuras com a utilização de um martelo de 5 quilogramas e novamente foi feita a lavagem do bloco com uma máquina de alta pressão. Foram colocados bicos de adesão a cada 20,0 centímetros de distância e fixados com adesivo epóxi bicomponente (Figura 6). Pregos foram colocados no meio dos bicos e presos no bloco para garantir que a injeção iria adentrar na fissura.

Figura 6 – Bicos de adesão



Fonte: Os autores

Após prender os bicos, foi realizada a colmatação das fissuras com adesivo epóxi bicomponente, que sela a fissura e ajuda na penetração da resina epóxi nas trincas garantindo que o produto não escape e preencha todo o espaço vazio. O acabamento da colmatação é feita com álcool etanol. Ressalta-se que a fissura deve estar limpa, livres de poeiras e óleos e seca para a fixação da colmatação.

A injeção de resina epóxi é composta por dois componentes, que são misturados com um misturador mecânico em um recipiente limpo, livre de qualquer sujeira. Após misturados, o produto resultante tem um tempo de trabalhabilidade de 30 minutos, com o tempo ele vai esquentando e quando atinge determinada temperatura, não pode mais ser utilizado. A resina epóxi tem uma resistência à compressão de 70 MPa, resistência à tração na flexão de 30 MPa e a temperatura do ambiente durante a aplicação deve estar entre 8 e 35 graus Celsius. Antes de injetar o material, deve-se, utilizando um compressor, “soprar” os bicos para retirar toda a poeira que estiver dentro da fissura. O serviço foi executado utilizando uma bomba injetora elétrica (Figura 7).

Após a injeção de resina epóxi, esperou-se 24 horas para o tempo de cura do produto e os bicos de adesão foram retirados com martelo de 5kg. Foram colocados 52 bicos no total, com 20 centímetros de distância um do outro. Quando os bicos foram retirados, buracos ficaram na estrutura, dessa forma, fez-se necessária a regularização da superfície com gesso tixotrópico (Figura 8). Constatou-se que foi realizada a injeção de resina epóxi em 10,05 metros de fissuras no Bloco 1.

Figura 7 - Aplicação de injeção nos bicos



Fonte: Os autores

Figura 8 - Regularização com graute tixotrópico

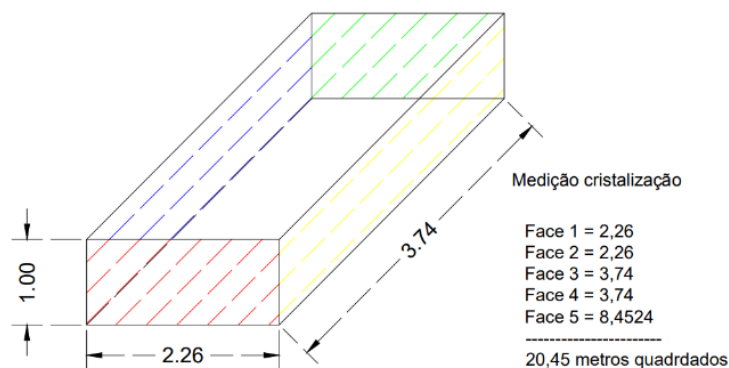


Fonte: Os autores

A impermeabilização por cristalização foi a etapa seguinte. O processo se iniciou com o encharcamento do bloco com água, para que o produto, por capilaridade, penetrasse nos poros do concreto. Em seguida se fez a aplicação de uma argamassa cristalizante concentrada indicada para fissuras com espessuras inferiores a 0,4 milímetros, que resiste a pressões hidrostáticas positivas e negativas e que permite a respiração do concreto. A argamassa foi aplicada com um traço de 5:2, onde a proporção é de argamassa e água, com o auxílio de uma broxa. Após a aplicação do impermeabilizante, foi realizada a cura úmida, na qual molha-se o bloco por três dias,

três vezes ao dia. Constatou-se que foram realizados 20,45 metros quadrados de impermeabilização (Figura 9, Figura 10).

Figura 9 - Medição da impermeabilização por cristalização



Fonte: Os autores

Figura 10 - Bloco impermeabilizado



Fonte: Os autores

O processo foi repetido nos outros nove blocos, sendo constatados que alguns blocos não necessitaram de injeção de resina epóxi, pois não apresentaram fissuras com espessuras superiores à 0,4 mm. Ressalta-se também que apenas o primeiro bloco apresentou armadura exposta, sendo necessário realizar a recuperação estrutural com graute tixotrópico.

As Tabelas 1 e 2 mostram um resumo de todas as intervenções realizadas nos blocos e pilares do estudo.

Tabela 1 - Quadro resumo das intervenções realizadas nos blocos e pilares

Bloco	Pilar	Injeção de resina epóxi	Impermeabilização por cristalização	Recuperação estrutural no bloco	Recuperação estrutural no pilar
Bloco 1	P1	Sim	Sim	Sim	Não
Bloco 2	P2	Sim	Sim	Não	Não
Bloco 3	P3	Sim	Sim	Não	Não
Bloco 4	P4	Não	Sim	Não	Não
Bloco 5	P5	Não	Sim	Não	Não
Bloco 6	P6	Sim	Sim	Não	Não
Bloco 7	P7	Sim	Sim	Não	Não
Bloco 8	P8	Não	Sim	Não	Não
Bloco 9	P9	Sim	Sim	Não	Não
Bloco 10	P10	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Os autores

Tabela 2 - Quadro resumo dos quantitativos das fissuras e impermeabilização de cada bloco

Blocos	Fissuras com espessura superior a 0,4mm (m)	Impermeabilização por cristalização (m²)
Bloco 1	10,05	20,45
Bloco 2	5,70	6,8
Bloco 3	8,00	12,00
Bloco 4	0,00	8,00
Bloco 5	0,00	8,00
Bloco 6	40,80	21,17
Bloco 7	5,30	7,68
Bloco 8	0,00	6,55
Bloco 9	7,95	12,30
Bloco 10	23,48	20,43
TOTAL	101,28	123,38

Fonte: Os autores

Neste estudo foi possível analisar que nos dez blocos de fundação não foi constatada a presença do gel expansivo em suas superfícies, além de não apresentarem fissuras profundas e em grande quantidade, o que não é comum quando ocorre Reação Álcali-Agregado. Evidenciou-se que foram utilizados poucos quilogramas de resina epóxi, justamente pelas fissuras não serem profundas e sim superficiais. No total foram utilizados apenas onze quilogramas de resina epóxi nos dez blocos.

Dos dez blocos analisados nesse estudo de caso, sete apresentaram fissuras com espessura superior à 0,4mm e precisaram de injeção de resina epóxi, enquanto três blocos, 4, 5 e 8, não apresentaram e só necessitaram da impermeabilização por cristalização. Em relação à recuperação estrutural, apesar da existência das fissuras nas estruturas de fundação e da possibilidade de infiltração da água, apenas o Bloco 1 e o Pilar P10 apresentaram armadura com corrosão e receberam o tratamento através do lixamento mecanizado da armadura, aplicação do primer mineral anticorrosivo e reposição do concreto retirado com graute tixotrópico. Foi indicado que a cada cinco anos os blocos sejam reabertos e expostos novamente para que uma análise seja feita para constatar se o quadro fissuratório retornou.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chegou-se à conclusão de que não se pode afirmar que a causa do quadro fissuratório nos blocos da edificação foi a Reação Álcali-Agregado, pois não foram realizados ensaios mais específicos e complexos, apenas inspeção visual por empresa especializada. Porém, foi efetivado o tratamento indicado pelo laudo técnico, que consistiu em injeção de resina epóxi para o preenchimento das fissuras e a impermeabilização por cristalização para evitar que a água adentrasse nos blocos e possibilitasse maiores danos à estrutura.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6023:** Informação e documentação: referências: documentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ARRAIS, M. S. M. C. **Reação Álcali-Silicato: Avaliação do comportamento de agregados graúdos da Região Metropolitana do Recife frente a diferentes tipos de cimento.** Recife, 2011. 148 p. Tese (Mestrado em Engenharia Mineral), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- OTOCH, S. **Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?** Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.
- GOMES, E. A. O. **Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela Reação Álcali-Agregado – A experiência do Recife.** Recife, 2008. 138 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.
- HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado.** 2005. 326f. Tese

(Doutorado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HASPARYK, N. P.; LOPES, A. N. M.; CAVALCANTI, A. J. C. T.; SILVEIRA, J. F. A. **Deterioration index and properties of concretes from Paulo Afonso power plants – Brazil – affected by the alkali-aggregate reaction.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 12., 2004, Beijing. Proceedings... Beijing: International Academic Publishers, 2004. v.2, p. 898-906.

LOPES, L. E. **Modelagem mecânica e numérica da reação álcali-agregado com aplicação a barragem de concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MOURÃO, D. K. **Injeção de resinas em estruturas de concreto armado.** Belo Horizonte, 2010. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

NASCIMENTO, L. C.; NOCETTI, M. H. M. **Análise das técnicas em impermeabilização de fundações diretas em obras da cidade de Palhoça/SC.** Palhoça, 2018. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 2008.

SARKAR, S. L.; MUKHOPADHYAY, A. K.; ZOLLINGER, D. G.; SEUNGWOOK, L. **Handbook for identification of alkali-silica reactivity in airfield pavements.** Washington: Department of Transportation, 2004. 79p. Disponível em: <<http://www.faa.gov/arp/150acs.cfm>>. Acesso em: 27 de março de 2021.

SILVA, G. A. **Recuperação de blocos de coroamento afetados pela Reação Álcali-Agregado.** Recife, 2007. 133 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVEIRA, J. F. A. **Parecer técnico sobre as estruturas de concreto da Usina Hidroelétrica de Furnas - Relatório FR-01/96-RO,** Goiânia: FURNAS Centrais Elétricas S. A., 1996.

TAKAGI, E. M., JUNIOR, A. W. **Utilização de tecnologias de injeção para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado.** Disponível em: <<http://www.site.ibracon.org.br/>> Acesso em: 07 de maio de 2021.

TAKAGI, E. M., JUNIOR, A. W., OLIVEIRA, F. S. **TRATAMENTO QUÍMICO CRISTALIZANTE PARA IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.** Disponível em: <<http://www.exemplo.eng.br/>> Acesso em: 07 de maio de 2021.