

Procedimentos de recuperações em elementos de fundações por problemas de reação álcali agregado. Investigação documental

C. S. Silva^{1*} , E. C. B. Monteiro^{1,2} , M. S. C. Santos³ , T. W. C. O. Andrade⁴ ,
W. A. Soares⁶ , D. C. M. Neves⁶ 

* Autor de Contato: cristiane_santana@msn.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.490>

Recepção: 20/05/2020 | Aceitação: 10/03/2021 | Publicação: 01/05/2021

RESUMO

A Reação Álcali Agregado (RAA) atingiu muitas fundações e observou-se a importância de realizar uma verificação nos procedimentos de recuperações, compreendendo uma investigação em cinquenta fundações, objetivando traçar um perfil dos processos de recuperações através de consulta no acervo de empresas fiscalizadoras ou executoras de recuperações na cidade de Recife e cidades vizinhas. A metodologia consistiu na aplicação de um questionário com dezessete perguntas. Esses resultados possibilitaram estabelecer as semelhanças das fundações afetadas, o diagnóstico, processos aplicados na recuperação, os avanços dos materiais, fatores condicionantes para utilização da armadura, os custos, e possibilitaram a identificar as fundações que deixaram uma janela de inspeção para posteriores verificações. Concluindo-se com os resultados uma avaliação dos tratamentos nas fundações acometidas pela reação RAA.

Palavras-chave: fundações; reação álcali agregado, diagnóstico, procedimentos, recuperações.

Citar como: Silva, C. S., Monteiro, E. C. B., Santos, M. S. C., Andrade, T. W. C. O., Soares, W. A., Neves, D. C. M. (2021), "*Procedimentos de recuperações em elementos de fundações por problemas de reação álcali agregado. Investigação documental*", Revista ALCONPAT, 11 (2), pp. 124 – 145, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.490>

¹ Department of Civil Engineering, Catholic University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

² Department of Civil Engineering, University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

³ Department of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina, Santa Catarina, Brazil.

⁴ Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

⁵ Department of Civil Engineering, Pernambuco University, Recife-PE, Brazil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho os autores E.C.B. e T.W.C.O. contribuíram com a ideia original, supervisão e as diretrizes deste artigo. Os participantes M. S. C., W. A. e D. C. M., com a pesquisa do conteúdo da investigação, desenvolvimento, no contato com as empresas para coleta dos dados, na formatação das conclusões do trabalho e nas traduções em Inglês e Espanhol.

Licença Creative Commons

Copyright (2021) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2022, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2022.

Recovery procedures for foundation elements with alkali/aggregate reaction problems. Documental research

ABSTRACT

The alkali-aggregate reaction (AAR) is a problem that has affected numerous foundations. This study, through an investigation of fifty foundations, seeks to create a profile of the recovery processes through consultations with inspection companies that have carried out recoveries in the city of Recife and neighboring areas. The methodology consisted on the application of a survey with seventeen questions. The results obtained made possible to establish similarities in the foundations affected, the diagnoses, processes applied during recovery, advances in materials, conditioning factors for the use of the reinforcement, and costs, and also identified the foundations where an inspection window was left for future checks. The results conclude with an evaluation of the treatments for foundations affected by AAR.

Keywords: foundations; alkali-aggregate reaction; diagnosis; procedures; recovery.

Procedimientos de recuperación en fundaciones por problemas de reacción álcali/agregado. Investigación documental

RESUMEN

La reacción álcali/agregado (AAR) ha afectado muchas cimentaciones lo cual señala la importancia de realizar una verificación de los procedimientos de recuperación, la cual se realizó en cincuenta cimentaciones. El objetivo fue construir un perfil de los procesos de recuperación a través de una consulta con empresas de inspección o ejecutores de recuperaciones en la ciudad de Recife y ciudades vecinas. Para ello se aplicó en forma metodológica un cuestionario con diecisiete preguntas. Estos resultados permitieron establecer las similitudes de las cimentaciones afectadas, el diagnóstico, los procesos aplicados en la recuperación, los avances en materiales, los condicionantes para el uso de la armadura, los costos, y permitieron identificar las cimentaciones que dejaron una ventana de inspección para controles adicionales. El resultado fue una evaluación de los tratamientos en las bases afectadas por la reacción química AAR.

Palabras clave: fundaciones; reacción alcalina agregada; diagnóstico; procedimientos; recuperaciones.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos para o uso exclusivo do título da revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

No início da década de quarenta, a comunidade científica deparou-se com uma “doença” que acometeu as grandes estruturas de concreto. Uma reação lenta e progressiva que se desenvolvia através de um processo químico entre os hidróxidos alcalinos, presentes nas soluções existentes nos poros da pasta do concreto e alguns minerais reativos encontrados em certos tipos de agregados, em presença da água. A Reação Álcali Agregado, mais conhecida como RAA, é uma reação química de longa duração e deletéria, que podia resultar na formação de um gel expansivo, induzindo o elemento de concreto à formação de fissuras e lascas, e como consequência a perda de sua durabilidade e outras propriedades.

No Brasil, os pioneiros estudiosos acerca da reação foram Heraldo de Souza Githay e Murilo Dondici Ruiz, em 1963, através do instituto de Pesquisas Tecnológicas em São Paulo (IPT), relataram as reações da RAA, seu comportamento, os materiais envolvidos e ações mitigadoras, destinadas as Centrais Elétricas de Urupungá.

A pesar de todas as descobertas científicas e o firme propósito de aprimorar e consolidar os estudos sobre o concreto, os problemas relacionados ao envelhecimento das estruturas, atrelados à falta de manutenção e ao incipiente conhecimento de algumas patologias, a exemplo da Reação Álcali Agregado (RAA), responsáveis por vultuosas somas em suas recuperações, vêm trazendo muitas incertezas sobre os resultados e a durabilidade destas intervenções.

A constatação da Reação Álcali Agregado em obras de edifícios foi verificada pela primeira vez na Região Metropolitana do Recife (RMR), estado de 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 pudesse apontar a RAA como causa do episódio. No entanto, a inspeção das fundações de diversos edifícios naquela região, permitiu a verificação e constatação da existência de muitos casos onde houve fissuração dos blocos de coroamento sobre estacas ou de sapatas. A análise apurada 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 Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) estudado mais de 60 casos (Battagin, 2016).

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. Mais recentemente, no fim do ano de 2014 e ao longo de todo o ano de 2015 foram constatados vários casos de RAA na região de Recife/PE, principalmente em blocos e sapatas de fundações de edifícios com idades de 3 a 20 anos de construção. Pouco tempo depois em Fortaleza/CE, também surgiram os primeiros casos de RAA em blocos de fundações em algumas edificações, conforme já mencionado. (Otoch, 2016).

Segundo Battagin (2016) através 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, constatou-se que em todo o País o número de ensaios enviados para ABCP aumentou consideravelmente através de vários seguimentos da cadeia construtiva. As amostras de agregados foram 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 foi 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 e a procedência das amostras de agregado por estados brasileiros, visualizados na Figura

1. A maior parte vem de São Paulo com 532 amostras e Pernambuco com 228 amostras, com registros de solicitações de todos estados brasileiros, exceto Acre. (Battagin, 2016). Diante deste cenário encontrado em Recife e cidades vizinhas em Pernambuco e por trata-se de regiões com grande incidência dessa reação, constatados com o grande aumento de ensaios buscando elucidar as condições do agregado, o presente trabalho, apresenta o resultado de uma investigação documental executada nas principais empresas de recuperação de estrutura na RMR. Com o propósito de traçar um perfil historiando as características construtivas do empreendimento, como foi feito o diagnóstico, os procedimentos utilizados na intervenção, materiais aplicados nas recuperações, a utilização do encamisamento com a armadura e os custos, assim como foram identificadas as fundações que após a recuperação deixaram uma janela de inspeção. A entrevista forneceu dados de cinquenta fundações afetadas pela reação, porém esse número possivelmente é superior, que poderá ser posteriormente pesquisado buscando uma abrangência maior com dados relevantes que possam somar-se e trazer resultados futuros.

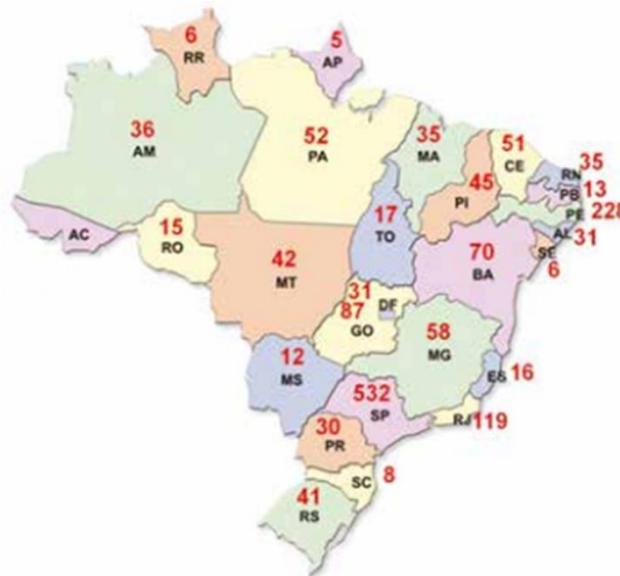


Figura 1. Distribuição de amostras por Estados (Battagin, 2016).

1.1 Conceito da reação e seus tipos

A reação álcali agregado trata-se de uma reação química que ocorre na estrutura interna do concreto envolvendo os alcalinos hidróxidos vindos como consequência da hidratação do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. O resultado da reação, são produzidos produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar ao comprometimento das estruturas de concreto. Existem dois tipos de reação álcali agregado, classificadas de acordo com a sua composição mineralógica reativa do agregado e com mecanismos de expansão específicos. A reação recebe as seguintes denominações: reação Álcali Sílica (RAS) ou Álcali Silicato (RASS) e Álcali Carbonato (RAC).

1.1.1 Reação Álcali Sílica (RAS)

Segundo Hasparyk (2005), a reação Álcali-Sílica é o tipo de RAA mais conhecida e relatada no meio técnico, como sendo a que normalmente ocorre mais rapidamente, em função das formas minerais de sílica reativas envolvidas. Entre as formas minerais mais comuns destacam-se: a opala ou sílica amorfa, a calcedônia, a cristobalita, a tridimita, os vidros naturais e artificiais e o quartzo microcristalino/ criptocristalino e deformado.

1.1.2 Reação Álcali Silicato (RASS)

Um tipo específico da reação Álcali Sílica, denominada de reação Álcali Silicato, se processa entre álcalis e silicatos reativos presentes em rochas sedimentares, metamórficas e ígneas. Apresenta o mesmo mecanismo que a reação álcali-sílica, porém ocorre mais lentamente. (Andrade, Silva, 2006).

1.1.3 Reação Álcali Carbonato (RAC)

É uma reação mais rara e não há a formação do gel. Caracteriza-se pela expansão das rochas carbonáticas, em consequência da reação entre álcalis, proveniente principalmente da pasta do cimento e o calcário dolomítico, gerando compostos cristalizados como brucita, carbonatos alcalinos, carbonato de cálcio e silicato magnésiano. Atribui-se a esta expansão, denominada de desdolomitização, a causa das fissuras que surgem no concreto em consequência do enfraquecimento da ligação pasta-agregado. Nesta reação ocorre novamente a formação de álcalis, possibilitando a continuidade da desdolomitização, até que a dolomita tenha reagido por completo ou até que a concentração de álcalis seja suficientemente reduzida. (Andrade, Silva, 2006).

1.2 Comportamento das estruturas afetadas

Os sintomas de uma estrutura com a RAA se apresentam através do aparecimento da exsudação do gel na superfície do concreto, bordas ao redor dos agregados, preenchimento de poros com material branco ou vítreo, fissuração e descoloração do concreto. As fissuras que tiverem sua configuração em mapa ocorrem com maior frequência em pavimentos rodoviários, pistas de aeroportos, muros e faces de elementos estruturais, que apresentam baixa restrição à expansão nas três direções. Segundo Hasparyk (2005), os principais efeitos deletérios provocados pela RAA em uma estrutura, são os seguintes: fissuração na superfície do concreto e entre camadas de concretagem; deslocamento na superfície do concreto; perda de estanqueidade; deslocamento (perda de aderência) da argamassa junto à superfície dos agregados; movimentação (abertura ou deslocamento relativo) de juntas de contração; abertura de juntas de construção, com fissuras horizontais; movimentação/desalinhamento das superfícies livres (alteamento da crista da barragem e soleiras de vertedouros, deflexões para o montante nas estruturas de barragens e outros) e travamento ou deslocamento de equipamentos e peças móveis (comportas, turbinas, eixos, pistões, entre outros).

2. METODOLOGIA

2.1 Considerações iniciais

A pesquisa desenvolvida para este trabalho reporta-se a uma investigação documental, desenvolvida nas cidades de Recife e Jaboatão dos Guararapes, locais onde ocorreu a maior quantidade de fundações assoladas pela reação Álcali Agregado, descritas nesta pesquisa. No Brasil até a presente data, todos os casos relatados da reação são exclusivamente do tipo Álcali Sílica (RAS), como será apresentada nas etapas que se seguem. Neste trabalho, serão expostas as características das edificações, diagnósticos, procedimentos, custos e os resultados dessa investigação obtidos através de consultas dos arquivos de empresas, assim como entrevistas que foram feitas junto aos engenheiros com atuação na área de recuperações, em cinquenta casos de fundações afetadas pela reação.

Vale ressaltar que não houve problemas e nem restrições por parte das empresas envolvidas no fornecimento das informações, mas se constatou um número pequeno do histórico de empreendimentos com fundações recuperadas. O que se remete ao fato de os condomínios fazerem seus orçamentos com empresas com experiências comprovadas e estas, ao emitirem seus pareceres com os materiais necessários para sanar os danos impostos pela reação deletéria, são dispensadas.

Com o passar do tempo verifica-se que estas recuperações foram executadas por pessoas com habilidades “duvidosas”, podendo comprometer a eficiência dos serviços prestados. Partindo-se desse princípio essas fundações deixam de ser analisadas e por consequência os resultados destas recuperações possivelmente podem terminar em insucessos, em função de processos mal executados.

Apesar da reação ser conhecida há mais de 85 anos pelo meio técnico e suas formas de prevenção serem também bem difundidas, a deterioração do concreto resultante da reação ainda é considerada relevante, notadamente pela sua grave repercussão nas fundações e pelos grandes transtornos trazidos às obras de infraestrutura e de edificação.

Baseado neste contexto e como Recife é possivelmente está dentre as cidades com o maior número de casos da reação registrados na literatura Brasileira fez-se uma investigação para coleta de dados sobre o tema, iniciada em dezembro de 2018 e finalizada em julho 2019. A metodologia usada dividiu-se em quatro etapas conforme a Figura 2. A metodologia desenvolvida foi baseada em entrevistas no maior número possível de empresas que executaram recuperações em fundações afetadas pela Reação Álcali Agregado, através da aplicação de um questionário com 17 perguntas, conforme Tabela 1.



Figura 2. Metodologia aplicada nas empresas entrevistadas.

2.2 Transcrição das Entrevistas

A primeira etapa desenvolvida fora as entrevistas com as empresas da cadeia construtiva, informando sobre o propósito da pesquisa e sobre a necessidade de dados atualizados quanto às fundações que foram recuperadas.

Tabela 1. Questionário aplicado nas entrevistas.

Empreendimento:		
1.0	Características da edificação:	
1.1	Qual a finalidade do empreendimento?	
	Residencial	Comercial
1.2	Quantos pavimentos?	
1.3	Qual altura do nível do lençol freático?	
1.4	Qual a idade da edificação?	
1.5	Como descobriu o problema?, Quíás os sintomas encontrado?	
1.6	Qual a distância do mar para edificação?	
1.7	Qual o tipo de fundação da edificação?	
2.0	Como foi feito o diagnóstico?	
2.1	Local da incidência das fissuras na edificação:	
2.2	Como foi diagnosticada a patologia?	
2.3	Quais os ensaios que foram executados para determinar a patologia?	
3.0	Como foi feita a recuperação?	
3.1	Quais as etapas que foram seguidas?	
3.2	Como foi feito o preenchimento das fissuras?, Quais os equipamentos utilizados na recuperação?	
3.3	O projeto de reforço foi elaborado pelo Caculista	
3.4	Foi feito encamisamento?	
	Sim	Não
3.5	Foi feito impermeabilização?	
4.0	Quem foram os responsáveis pelos custos da recuperação?	
4.1	Quem foi o responsável pelo pagamento?	
4.2	Foi deixada uma janela de inspeção após a recuperação?	
5.0	Observações:	

2.3 Coleta de Dados

Para esta pesquisa foram cadastradas informações de cinquenta edificações, comerciais e residenciais com fundações recuperadas.

Na cidade de Recife as recuperações foram em edifícios localizados nos Bairros das Graças, Casa Forte, Espinheiro, Derby, Boa Vista, Madalena, Boa Viagem, Setúbal, com ênfase para o Bairro de Boa Viagem.

Na cidade de Jaboatão dos Guararapes as recuperações foram em edifício localizado no Bairro de Piedade.

As empresas que participaram desde universo de informações foram bastante receptivas e forneceram os elementos necessários, partindo-se do princípio que a identidade dos edifícios elencados ficaria sob sigilo da pesquisa, assim como a identidade das empresas. Desta forma, cada empresa foi nomeada por uma letra, aleatória a seu nome. Foram verificados nos acervos os trabalhos de recuperações executados após 2004, período pelo qual as recuperações se intensificaram, a Tabela 2 tem o levantamento geral das empresas consultadas, demonstrando sua atuação e o total de fundações detectadas.

A primeira empresa entrevistada A. Engenharia Ltda.

Fundada em 1995, empresa A é uma empresa que atua no campo da construção civil, especializada na área de recuperação e reforço de estruturas em concreto armado e protendido. Com um acervo de mais de 600 obras concluídas, 24 anos no mercado, conferindo em seu portfólio a excelência em construções de estruturas em ambientes marinhos, tratamento de concretos aparentes, recuperação e reforço de adutoras, reforço estrutural, entre outros.

Nesta empresa catalogou-se no período de dezembro 2018 e maio de 2019 trinta edificações, com quadro da reação identificada.

A segunda empresa a X Engenharia.

Criada em 1981, possui em seu portfólio de construção uma variada gama de edificações modernas, passando por estruturas portuárias, empreendimentos imobiliários, obras de arte especiais, recuperação e reforço estrutural em edifícios e obras de arte e conservação e restauração de Patrimônio Histórico.

Nesta empresa catalogaram-se três edificações, com quadro da reação identificado, incluindo a recuperação de um edifício comercial. Porém as demais recuperações executadas pela empresa em questão fogem da proposta deste trabalho, que apesar de tratar-se da recuperação de fundações com RAS, não se trata de construções residenciais ou comerciais.

A terceira empresa foi Y Engenharia.

Constituída em abril de 2000, tendo como objetivo a prestação de serviços técnicos especializados no setor da construção civil, englobando restauração e reforços em elementos estruturais de concreto armado, sendo este o destaque de suas atividades. Os serviços especializados de restauração e reforço estrutural tornam delicada a divulgação nominal das obras que constituem seu acervo técnico, que consta aproximadamente 350 trabalhos executados. Nesta empresa catalogaram-se sete edificações que passaram pelo processo de recuperação.

A quarta empresa foi a Z. Engenharia.

Com mais de 12 anos de existência e experiência, exercendo atividades de prestação de serviços técnicos de engenharia civil nas áreas de recuperação e manutenção de edificações. Nesta empresa catalogaram-se três edificações, com quadro da reação identificado.

A quinta empresa T Engenharia.

Fundada em janeiro de 2003 na cidade do Recife, hoje possui atuação nacional e em sua carteira mais de 500 clientes atendidos. Os serviços oferecidos na área de assistência técnica pericial, consultorias, gerenciamento e fiscalização das obras, laudos periciais, monitoramento e acompanhamento técnico, entre outros. Nesta empresa catalogaram-se sete edificações, com quadro da reação identificado.

Tabela 2. Empresas participantes das entrevistas.

Empresa	Atuação	Experiência	Tempo Experiencia	Número de casos
A	Recuperação de estrutura	Estruturas marinhas, tratamentos de concretos, recuperação e reforço.	24 anos	30
X	Recuperação de estrutura	Estruturas portuárias, obras de arte especiais, recuperação y reforço e restaurações.	38 anos	03
Y	Recuperação de estrutura	Recuperação y reforço de fundações.	19 anos	07
Z	Recuperação de estrutura	Recuperação y reforço de fundações y manutenções prediais.	12 anos	03
T	Acompanhamento da recuperação	Assistência técnica pericial, consultorias, laudos e monitoramento e acompanhamento técnico.	16 anos	07
TOTAIS				50

2.4 Aplicação do questionário

A terceira etapa correspondeu à aplicação de um questionário de quinze perguntas relativas a edificações comerciais e residenciais onde a patologia da RAS estava comprovada e recuperada. Na aplicação do questionário, demonstrado na Tabela 2, buscaram-se informações sobre a manifestação patológica, historiando as características do empreendimento, como foi determinado o diagnóstico, o processo de recuperação e os custos.

2.5 Verificação dos dados

Com os dados coletados iniciou-se a quarta etapa referente à análise de todo material adquirido na pesquisa, buscando-se fotos, relatos e resultados de ensaios para contribuição do material pesquisado.

Com as respostas de cada questionário, de cada empresa, foi construída uma planilha com as composições de cada empreendimento com as suas referências, nomeando-se e suas características descritas, como as idades, tipo de recuperações, materiais utilizados nos enchimentos, tipos de ensaios, ano de recuperação etc. verificado através da Tabela 3. Estes dados foram somados e depois obtidos os percentuais de cada item analisado. De posse destes resultados criaram-se os gráficos (Figuras) com suas respectivas identificações.

Tabela 3. Planilha com as composições.

PLANILHA DE COMPOSIÇÕES																	
EMPRESA X	REFERÊNCIAS	CARACTERÍSTICAS						DIAGNÓSTICO			RECUPERAÇÃO			VALORES		INSPEÇÃO	
		FINALIDADE	Nº PAV	NÍVEL LENÇOL	IDADE	SINTOMAS	FUNDAÇÃO	LOCAL	PATOLOGIA	ENSAIOS	ETAPAS	CALCULISTA	ENCAMISAMENTO	CONDOMÍNIO	CONSTRUTORA	SIM	NÃO

2.6 Discussões

Por fim, verificou-se todo o material colhido, tendo-se os subsídios para analisar as características do empreendimento, procedimento aplicado na determinação da manifestação patológica,

diagnóstico, processo de recuperação e os custos.

Constatou-se que as intervenções nas fundações ocorreram em função da necessidade de verificar qual o estado em que se encontravam. Acredita-se que essas investigações ocorreram devido a dois fatores preponderantes. O primeiro em função do colapso do edifício Areia Branca que colocou os condôminos em estado de alerta para verificações de suas estruturas e o segundo da obrigatoriedade impostas pela Lei Nº 13341. Esta Lei tornou obrigatória as inspeções periódicas, identificando assim, um maior número de recuperações de fundações e outras patologias antes desprezadas em função do pouco hábito de manutenção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análises dos dados

Para análise dos dados dividiu-se o questionário em quatro partes. A primeira onde se historiaram as características da edificação, a segunda dissertou-se sobre o diagnóstico, a terceira como foi feita a recuperação e por último os custos dispensados na recuperação.

3.2 Características das Edificações

As primeiras informações coletadas foram apresentadas as características das edificações compondo-se de sete perguntas, pelas quais se pode ter uma ideia relevante de algumas situações relacionadas a fatores preponderantes para o aparecimento da reação. As perguntas seguiram-se com a seguinte ordenação: a finalidade do empreendimento, o número de pavimentos, a altura do lençol freático, a idade da edificação, como se descobriu o problema e quais os sintomas encontrados, distância do mar para a edificação e o tipo de fundação.

3.2.1 Finalidade do empreendimento

Basicamente, dos 50 empreendimentos verificados, apenas 4% são edificações comerciais e 96% são edifícios residenciais. Neste caso, a maioria das edificações verificadas atualmente compõe-se efetivamente de edifícios residenciais, conforme registrado pela pesquisadora, demonstrado na Figura 3.

3.2.2 Número de Pavimentos

O universo da pesquisa situa-se em edifícios que variavam a quantidade de pavimentos. A contagem foi elaborada levando-se em consideração os pavimentos comuns como subsolo, térreo, vazados, pavimentos tipos e a coberta.

A Figura 4 demonstra os percentuais referentes aos números de pavimentos para edifícios com até 15 pavimentos, em seguida para edifícios de 16 a 25 pavimentos e por último para edifícios com mais de 25 pavimentos, chegando até 41 pavimentos, perfazendo um total de 50 empreendimentos catalogados.

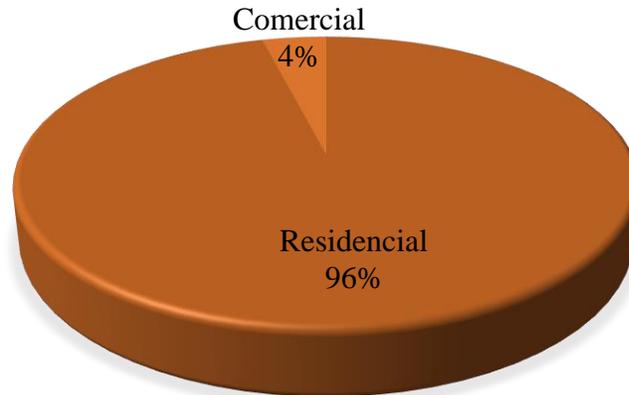
FINALIDADE DO EMPREENDIMENTO

Figura 3. Finalidade do empreendimento

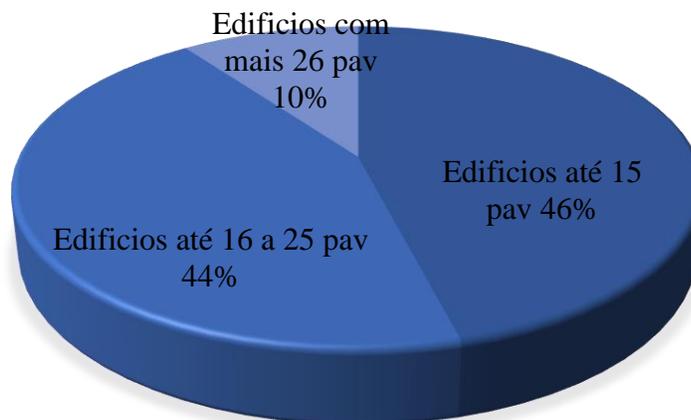
NÚMERO DE PAVIMENTOS

Figura 4. Número de Pavimentos

3.2.3 Altura do lençol freático

Como a ocorrência da RAS está diretamente ligada a três fatores: álcalis normalmente provenientes do cimento, agregado reativo e a presença da água. Nesta investigação buscou-se identificar se ao longo do processo da recuperação foi encontrada água que pudesse favorecer no aparecimento da reação.

No momento em que a fundação foi escavada procurou-se identificar se havia água proveniente de alguma fonte, seja ela do lençol freático ou mesmo de alguma outra condição. Em parte das fundações onde o nível do lençol freático foi identificado, os elementos estavam parcialmente ou apenas com água no nível inferior do elemento. Em se tratando desta reação, é equivocado pensar que o fenômeno se desenvolve apenas em elementos de concretos em contato direto com água, pois aqueles que estejam apenas com o nível inferior do bloco em contato com água estão susceptíveis à reação.

Durante as entrevistas, em algumas empresas a informação estava disponibilizada, em outros casos foi possível identificar através dos acervos das fotos, outras situações na verificação da composição dos custos do orçamento que trazia o dado de rebaixamento do lençol freático, ou seja, os trabalhos de recuperação só poderiam ser executados através do rebaixamento do lençol, e por ser desconhecido o nível em que a água estava estabelecida naquela fundação, considerou-se neste

caso, água na parte inferior do bloco. Em outros casos não havia qualquer informação a respeito da presença da água, então se considerou nível do lençol freático não encontrado.

Partindo-se dessas premissas, este tópico dividiu-se em quatro estágios, onde se encontrava o nível do lençol freático em relação à cota do elemento da fundação: Nível 1, Nível 2, Nível 3 e NE, descritos abaixo:

Nível 1: água no nível inferior do bloco; Nível 2: água no meio do bloco;

Nível 3: água no topo do bloco e NE: nível do lençol freático não encontrado.

Posteriormente, após todas as análises por empresa, desenvolveu-se a Tabela 4 onde os resultados dos lençóis freáticos foram resumidos e abordados de forma geral em relação às cinquenta fundações. Como resultado obteve-se 40% com água no nível inferior do bloco, nível 1; para o nível 2 encontrou-se 18% das fundações com água no meio dos blocos; o nível 3 não identificado. Não foram encontradas as informações do nível do lençol freático em 42% das fundações pesquisas.

Tabela 4. Níveis dos Lençóis encontrados.

Resumo dos níveis dos lençóis				
Empresas	NÍVEL 1 – Água no nível inferior do bloco	NÍVEL 2 - Água no meio do bloco	NÍVEL 3 – Água no topo do bloco	NE – Nível não encontrado
Z Engenheira	50%	25%	0	25%
X Engenheira	67%	33%	0	0
A Engenheira	17%	20%	0	63%
Y Engenheira	100%	0	0	0
T Engenheira	61%	17%	0	17%
Totais	40%	18%	0	42%

3.2.4 Idade da edificação

Outro esforço da pesquisa foi tentar identificar as idades de cada edificação, ou seja, a partir do ano 1, após a conclusão da construção até o momento que foi catalogada pela empresa responsável por sua recuperação. Porém não é uma informação que as empresas tenham disponibilizado em todos os casos estudados. Verificaram-se edificações que apresentaram idades distintas no momento de sua recuperação por RAS.

Encontraram-se edificações com treze anos no momento de sua recuperação, com fundação em sapatas, outras edificações referem-se a fundações em blocos sobre estacas e sapatas com idades de 16, 19, 20, 30 até 45 anos. Na Figura 5, as informações foram citadas considerando-se as idades construtivas da edificação até 20 anos, depois dos 21 aos 30 anos, em seguida dos 31 aos 40 anos e por fim 41 anos em diante e seus respectivos percentuais para essas abrangências de idades. A Tabela 08, apresenta os percentuais das edificações pelo seu tipo de fundação.

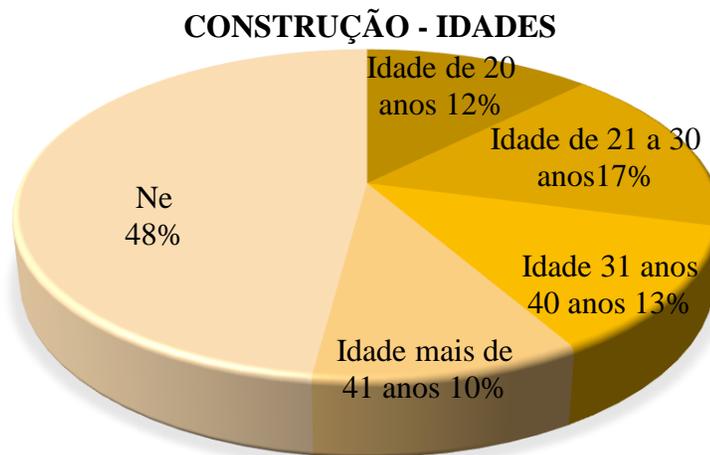


Figura 5. Idades das Construções.

As descobertas dessas fundações atingidas pela reação ocorreram em função das situações adversas citadas anteriormente, como o colapso do edifício Areia Branca e por consequência o surgimento da Lei 13.032, que obrigava os condomínios a fazerem inspeções. A partir daí as descobertas, com idades construtivas diferenciadas, e quadros agravados ou não da reação, foram determinantes, após as constatações da reação através de ensaios, como o ensaio Petrográfico, identificando o grau de agressividade instaurado naquele elemento de fundação, que poderia servir de parâmetro quanto à necessidade de uma intervenção urgente ou não.

Ainda se registraram que os anos em que as recuperações ocorreram foram em períodos variados, mas principalmente em 2005, 2008, 2009, 2011, 2012, e se estendem até os dias de hoje.

3.2.5 Descoberta da manifestação patológica e os sintomas encontrados

Normalmente dificuldades associadas às interpretações sobre ocorrências de fissuras ou danos de estruturas, ultimamente tem sido recorrente. Os problemas podem ter sido ocasionados por vários fatores como falhas ocorridas durante a fase de concepção de projeto, utilização de materiais incorretos, processo construtivo deficiente e ou devido à falta de manutenção.

Os sintomas são problemas patológicos que apresentam manifestações externas características, a partir das quais se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, bem como se podem estimar suas prováveis consequências. Esses sintomas, também denominados lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas e experientes observações visuais (Helene, 1992).

Nesta pesquisa os sintomas encontrados quase que se confundem com a descoberta da patologia, pois em 80% dos casos identificados as causas citadas foram às fissuras. Estas que normalmente propagam-se sobre o piso, e em alguns casos foram encontrados pelos pilares do subsolo, térreo ou pilotis, são identificadas por tornar o aspecto do ambiente anormal, em função da patologia inserida sobre os blocos ou sapatas, que demonstram suas evidências no piso imediatamente superior.

3.2.6 Distância do mar para a edificação

Analisou-se este item em função da proximidade com área marinha, que segundo a NBR 6118: (2014), considera-se com o Grau de Agressividade III, considerado forte.

Verificou-se que a maior parte das fundações recuperadas 54% se situam na zona Sul, no Bairro de Boa Viagem. As demais fundações encontram-se na zona Norte, em áreas mais afastadas. Normalmente, a zona Sul, nesta área, o nível do lençol freático é alto o que poderia possivelmente ter possibilitado um ambiente propício para o desencadeamento da reação nas fundações.

3.2.7 Tipo de Fundação

Nas fundações um dos sintomas mais comuns encontrados foi relatado como fissuras. São inúmeras dificuldades em interpretar as patologias causadas pela Álcali Sílica (RAS). Porém é correto afirmar que uma estrutura afetada por essa reação, terá a presença do gel exudado, resultante da reação. Inicialmente, nos primeiros estágios, ou sob condições onde pequenas quantidades foram formadas, a RAS não pode ser visualizada a olho nu, necessitando de especialistas e ensaios executados em amostras retiradas do elemento afetado, para detectá-la.

Segundo Silva (2013) em sua pesquisa verificou-se junto a renomados calculistas, atuantes no mercado imobiliário da construção civil, que algumas mudanças foram inseridas nos projetos de fundações com o propósito de mitigar os efeitos deletérios da reação. Houve a alteração no detalhamento das armaduras dos elementos de fundação, principalmente nos blocos de coroamento das estacas por terem elevados volumes de concreto, dispondo de armaduras com maiores espessuras nas laterais e na parte superior (através de malhas formando uma gaiola), a fim de evitar ou minimizar possíveis fissuras devido a alguma expansão do concreto.

No caso dessa pesquisa como as edificações em questão tinham idades superiores aos 15 anos, os projetos não tinham passado por mudanças no tocante à reação. Na figura 6, visualiza-se que, dos cinquenta empreendimentos citados, apenas dois possuíam fundações em sapatas como elemento de fundação, ou seja, apenas 4%, os outros 96% eram de fundações em blocos.



Figura 6. Tipos de Fundações.

3.3 Diagnóstico

O diagnóstico de estruturas de concretos afetados pela reação Álcali Agregado envolve as etapas de coleta de informações, inspeção visual, ensaios em amostras dos materiais componentes do concreto e de testemunhos extraídos da estrutura, a auscultação por meio de instrumentação e acompanhamento de sua evolução por modelagem matemática (Priszkulnik, 2005).

O diagnóstico das fundações afetadas foi construído através das informações visuais, e das respostas concretas dos resultados dos ensaios executados nos testemunhos que concluíram a existência da reação Álcali Sílica. Situações detalhadas foram relatadas sobre o estado em que se encontravam as fundações afetadas pela reação, como a formação das fissuras. A extração de testemunhos foi uma importante ferramenta que permitiu a identificação de fissuras internas, perda de aderência da argamassa na interface com os agregados, ocorrência de bordas de reação ao redor dos agregados que tenham reagido com os álcalis, presença do gel nos vazios e a profundidade de carbonatação.

3.3.1 Local da incidência das fissuras na edificação

As respostas encontradas para o local da incidência de fissuras foram respondidas com informações bem similares. As fissuras foram evidenciadas através de vistorias, em sua maioria de rotina, e ou em função de indícios encontrados sobre os pisos. Os elementos de fundações estavam com fissuras no topo e nas laterais. Executou-se um mapeamento preliminar dos elementos estruturais, onde se verificou o posicionamento das fissuras, seus encaminhamentos, espessuras de sua abertura e onde havia a maior concentração.

Partindo do princípio da junção de todas as informações das inspeções visuais, dos ensaios e das documentações de projeto e da construção da edificação, só assim foi possível analisar e diagnosticar o problema. Portanto ressalta-se a necessidade de ensaios laboratoriais para confirmação da ocorrência da Reação Álcali Sílica.

Também foi relatado pelas empresas envolvidas neste trabalho que as inspeções visuais, assim como as verificações aos projetos são atendidas, porém apenas 48% dos empreendimentos fizeram uso de ensaios laboratoriais. Os outros 52% trataram como resultados a partir das abordagens apenas visuais, como apresentado na Figura 7. Em algumas circunstâncias, em função de questões financeiras os ensaios são dispensados. Em outros depois da verificação in loco do estado da fundação, a reação deletéria estava avançada, conforme a Figura 8, que se tornou imperiosa a recuperação, fazendo com que os condôminos acreditem o diagnóstico apenas a experiência das empresas.

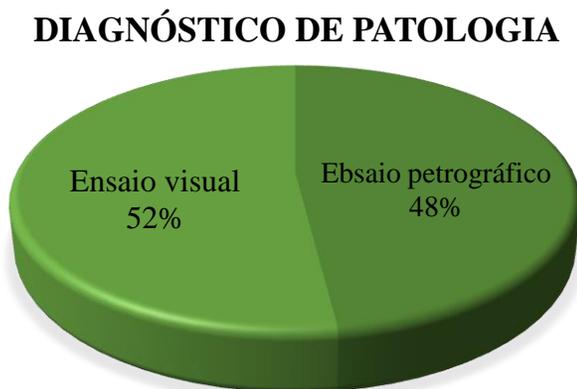


Figura 7. Diagnóstico da patologia.



Figura 8. Fissuração do bloco com RAA

Atualmente vários métodos normatizados são oferecidos no mercado para caracterizar a reatividade potencial expansiva dos agregados minerais no concreto de cimento Portland. A análise petrográfica trata-se de um exame para o diagnóstico da presença de material reativo e também para ocorrência de manifestações associadas à reação, como borda de reação no agregado, microfissuras causadas pela expansão, presença do gel no interior dos poros, dentre outros.

O ensaio utilizado na determinação das patologias desta pesquisa foi o ensaio Petrográfico NBR 15577-3: (2013). Infelizmente, como apresentado anteriormente, em função dos custos os ensaios não foram executados. E nos casos investigados, os testemunhos extraídos dos elementos das fundações foram encaminhados para ABCP (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ou para o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), ambos em São Paulo. O maior número de ensaios petrográficos, 80% foram imputados à ABCP e os demais ao IPT.

3.4 Procedimentos das recuperações

No processo das recuperações de estruturas de concreto a qualidade e o resultado dos serviços aplicados depende primeiramente de um diagnóstico preciso e da escolha adequada, que se inclui a seleção de materiais e equipamentos a serem empregados, necessários para execução do serviço. Fatos esses que foram evidenciados com a solicitação de projetos para as fundações onde a reação expansiva encontrava-se em grau elevado de deterioração. Somado a essas questões, buscou-se os resultados das propriedades do concreto exposto à reação, condição imposta pelas empresas, visando constatar as condições em que os concretos anteriores se encontram, com o intuito de garantir os bons resultados na intervenção dos serviços de recuperação.

Diante do exposto de posse desses dados, determina-se o processo de recuperação, as etapas a serem seguidas, os procedimentos de segurança aplicados e quais os materiais que serão utilizados no combate a RAS.

3.4.1 Etapas seguidas no processo da recuperação

As etapas seguidas no processo de intervenção para recuperação da fundação assemelham-se a uma receita para o tratamento de uma doença. Esse processo foi seguido e executado por todas as cinco empresas entrevistadas nessa pesquisa na maioria das recuperações, mudando apenas os materiais empregados na busca pela monolitização dos elementos.

A formulação desses tratamentos de recuperações foi ajustada as questões referentes à dimensão, encaminhamento e profundidade das fissuras. E em se tratando dos processos de recuperação de RAS a busca é garantir que as peças estruturais voltem a funcionar como um todo, monoliticamente, com o fechamento de suas fissuras, conseguido através da injeção de um material aderente e resistente. As etapas que compõe a recuperação e a ordem de sua execução descrevem-se a seguir:

Demolição e escavação dos materiais; Lavagem das Superfícies de Concreto; Apicoamento das superfícies; Furação do concreto; Colmatação e colocação dos purgadores; Injeção nas fissuras; Montagem de armaduras e Concreto estrutural.

3.4.2 Preenchimento das fissuras e materiais utilizados

A injeção é a última etapa no processo de recuperação e tem por objetivo permitir o perfeito preenchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda recompondo a fundação e promovendo sua monoliticidade. Os procedimentos executados nos preenchimentos das fissuras tiveram pequenas variações, de uma empresa para outra, em função do estado em que o elemento estrutural foi encontrado e os critérios desenvolvidos na injeção.

Nos diversos tratamentos estudados foi necessário o uso de materiais com alta resistência mecânica à compressão, à tração e ao cisalhamento e a resina epóxi foi um dos materiais recomendados para o tratamento das trincas e fissuras afetadas pela RAS. Por tratar-se de material rígido após a cura, e importante para restringir o tratamento somente às fissuras e ou trincas passivas, isto é, que não apresentavam movimentação, como foi o caso das fundações citadas neste trabalho.

O segundo material utilizado nas injeções foi o microcimento. Relativamente novo neste procedimento, é um material criado do próprio cimento com uma finura dos grãos com até 8 micrômetros, ou 8 milésimos de milímetro, sendo que 95% das partículas apresentam o mesmo tamanho. Aplicado em recuperações de fissuras passivas é um material rígido, após sua cura e utilizado em áreas secas ou úmidas. Algumas empresas optaram por esse material, pois o mesmo promove à peça estrutural a proteção alcalina das armaduras, a resistência à compressão, tração e cisalhamento e o preenchimento dos vazios, devolvendo o monolitismo e a resistência da estrutura. Na pesquisa verificou-se uma maior utilização das resinas epóxicas em 82% das fundações, seguidos do microcimento em 6% das fundações e em 10% não foi identificado o material utilizado, visualizadas na figura 9.

No processo de injeção a utilização dos purgadores plásticos e metálicos foi executada, visualizados nas Figuras 10 e 11. Os purgadores metálicos fazem parte dos novos avanços no processo de injeção, aos quais se imputa uma injeção com maior pressão, e conseqüentemente a penetração do material até áreas de maiores profundidades em um curto espaço de tempo. Porém em todos os materiais coletados deste estudo, a colmatação é um procedimento utilizado no fechamento das fissuras externas para garantir a injeção, e o material mais utilizado são as mangueiras plásticas, mais simples e facilmente encontrado no comércio.



Figura 9. Materiais utilizados nas Injeções.

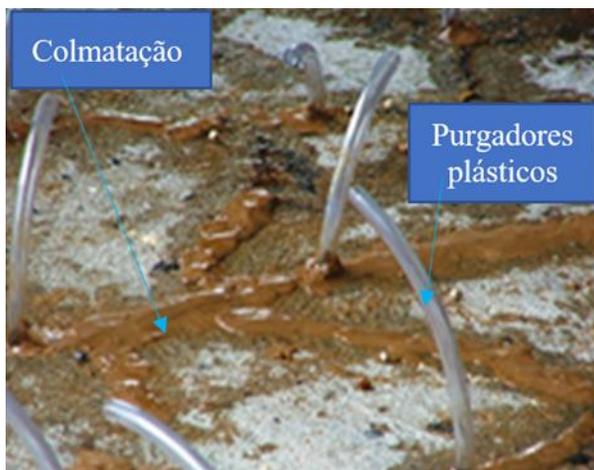


Figura 10. Purgadores plásticos.



Figura 11. Purgadores metálicos.

3.4.3 Encamisamento e o cálculo do reforço

Segundo Silva (2007) para realização do processo construtivo de encapsulamento dos blocos afetados pelo fenômeno expansivo da RAS, primeiramente deve-se ter um entendimento a respeito do comportamento da estrutura a ser recuperada. Com o aparecimento do fenômeno da Reação Álcali Sílica nos blocos de fundação nos edifícios da região Metropolitana do Recife, entender o comportamento dessas estruturas passou a ser um desafio para os técnicos e para os calculistas de estruturas. Como estabelecer um diagnóstico preciso e adotar técnicas que sejam eficazes para o problema, ou seja, devolver à obra sua estabilidade e confiabilidade de projeto.

No caso das fundações atingidas, as áreas com poucas armaduras ficaram susceptíveis as expansões causadas pela reação. Ensaio em laboratório mostraram que no concreto a expansão está restrita à área onde não ocorrem fortes compressões. Ou seja, fundações como as sapatas, que na época tinham armaduras apenas nas áreas inferiores e as áreas superiores (cuscuz) normalmente tinham

pouca ou nenhuma armadura, eram susceptíveis à expansão. O cálculo do reforço foi determinado em alguns casos, através da intervenção de calculistas. A avaliação para o uso do projeto determinou-se em função do quadro de expansão encontrado, nas fundações com a reação deletéria avançada era solicitada a verificação do calculista. Os encamisamentos responderam por 81% dos elementos de fundação com o uso de armadura e 19 % não foram identificados, visualizado na Figura 12.

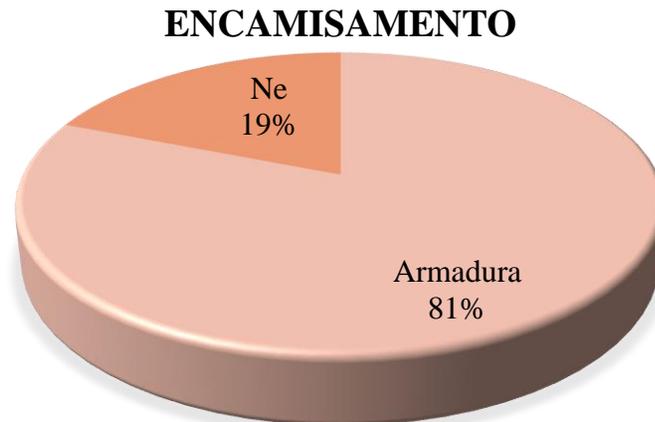


Figura 12. Uso da Armadura.

3.4.4 Impermeabilização

Durante a construção das fundações, sejam elas sapatas ou blocos em função da reação foi assegurada a salubridade e a durabilidade das fundações através da impermeabilização. Importante etapa em função da exposição desses elementos em contato permanente com a umidade do solo e, que quando não tratados, conduzem a umidade por capilaridade.

Para evitar possíveis problemas patológicos causados pela umidade é imperiosa a utilização de um sistema de impermeabilização compatível com a geometria das peças e com as características de estrutura, como o nível do lençol freático. Verificou-se na pesquisa que em todas as fundações recuperadas utilizou-se a impermeabilização nos topos e laterais dos elementos, visualizada na Figura 13.



Figura 13. Bloco impermeabilizado.

3.5 Custos das recuperações

Os recursos dispensados nas recuperações dependeram do como seria o tipo de intervenção solicitada e dos valores apresentados. O custo da recuperação foi diretamente proporcional à

solução adotada para execução, considerando a metodologia, especificações dos materiais, mão de obra utilizada, trabalhos complementares, como escoramentos e andaimes, bombas de rebaixamentos, entre outras.

Verificou-se ao longo da pesquisa que os custos, bastantes onerosos, são de responsabilidade do condomínio e foram variados e divididos em dois grupos, conforme a disponibilidade econômica de cada condomínio. O primeiro grupo realizou a recuperação completa em 100% das fundações e segundo grupo as recuperações foram executadas por partes e por extensos períodos.

3.6 Janela de inspeção

Como resultado, constatou-se que das 50 fundações pesquisadas, apenas duas deixaram as janelas de inspeções. As janelas são pequenas aberturas deixadas nos elementos de fundações, para acompanhamento das recuperações, visíveis nos pisos superiores, visualizadas na Figura 14 Internamente são colocados pequenos pedaços de vidros visualizados na Figura 15, onde anteriormente identificou-se as fissuras, que após sua reabilitação, será acompanhada periodicamente. Caso ocorra alguma nova movimentação do bloco de fundação, a tendência desse vidro será romper, indicando possíveis indícios da continuidade da RAS, ou alguma outra manifestação patológica.

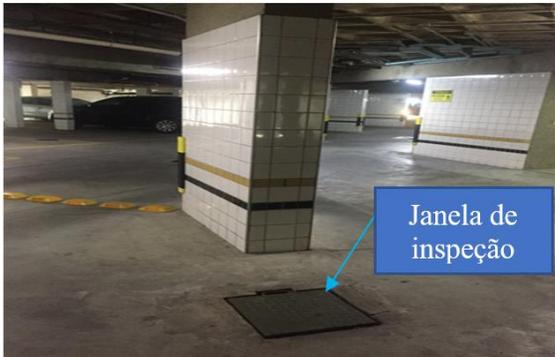


Figura 14. Janela de inspeção.



Figura 15. Interior da janela de Inspeção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo traçar um perfil dos processos utilizados nas recuperações das fundações atingidas pela reação Álcali Sílica, através da verificação de estudos de casos em 50 fundações que foram reabilitadas. São apresentados os resultados, que foram divididos em quatro partes compreendendo as características, o diagnóstico, a recuperação e custos. As análises dos primeiros resultados forneceram as seguintes afirmações sobre as características construtivas:

- ✚ Na finalidade dos empreendimentos pesquisados 96% são residenciais e 4% comerciais;
- ✚ Com relação ao número de pavimentos, encontraram-se estruturas de 15, 25, 30 até 41 pavimentos;
- ✚ Determinando os fatores condicionantes que influenciam na Reação estabeleceu-se que várias fundações estavam com seus elementos emergidos parcialmente em água do lençol freático. Dessas constatações verificou-se que 40% das fundações estavam inseridas no nível 1, ou seja, possuía água advinda do lençol freático em contato permanente com a parte inferior do bloco, 18% das fundações com água no meio do bloco, nível 2 e o nível 3 não foi encontrado. Em 42% das fundações não foram identificadas o nível do lençol freático;
- ✚ As idades construtivas, outro dado analisado das edificações, variaram dos 10, 15, 16, 20, 22, 25, 30, 40, 41 chegando até 45 anos;

- ✚ As descobertas das manifestações ocorreram através de verificações de rotinas que indicaram o aparecimento de fissuras nos pisos dos estacionamentos em 80% dos casos pesquisados;
- ✚ Nas distâncias das edificações em relação ao mar, verificou-se que 54% das fundações encontravam-se na zona Sul e 46% na zona Norte;
- ✚ Os tipos de fundações encontrados foram sapatas com apenas 4% e blocos com 96%.

No segundo material analisado, o diagnóstico concluiu-se as seguintes questões:

- ✚ O local da incidência das fissuras foi identificado nos blocos e sapatas nas laterais e no topo dos blocos;
- ✚ O diagnóstico de 42% dos materiais analisados, fez uso de ensaios em laboratório. E através de estudos com a participação de calculistas e especialistas na área de concreto, e em função do quadro fissuratório, da idade da edificação e do ambiente onde estava inserida a fundação, traçaram uma metodologia de recuperação para RAS baseados em resultados de ensaios advindos de extrações de testemunhos que respaldaram no aparecimento de uma receita para combate a doença da expansão. Todavia os 58% dos materiais analisados buscaram opiniões de empresários, dos quais parte deles possuía bastante experiência nos processos de recuperações e outros eram supostamente da área, e em função de suas experiências em outros trabalhos, sem a presença de calculistas e resultados de ensaios, determinou que a intervenção deveria ser tratada como reação Álcali Sílica seguindo a receita de recuperações usadas em outros casos.
- ✚ Os ensaios utilizados no diagnóstico da reação dos 42% das fundações foi o ensaio Petrográfico e os 58% restante diagnosticaram a reação através de ensaios apenas visuais.

Na terceira análise observou-se as informações sobre as recuperações:

- ✚ As recuperações foram semelhantes na maioria das cinquenta fundações verificadas e seguiram o seguinte procedimento: demolição e escavação das peças estruturais, lavagem da superfície dos elementos, apicoamento e furação do concreto, colmatação, injeção, montagem da armadura de reforço, concretagem e impermeabilização.
- ✚ A injeção no preenchimento das fissuras os materiais utilizados foram o epóxi em 84% das fundações, o microcimento em 6% das fundações e em 10% das fundações não foi identificado. Preenchidas com auxílio de bomba pneumática de injeção;
- ✚ O encamisamento foi utilizado em 81% das fundações e em 19% não foi identificado. A escolha desse processo foi através do grau de deterioração em que a fundação se encontrava. Nas fundações mais degradadas fez-se o uso de recuperações através a intervenção do projeto do calculista.

O quarto material compilando foram os custos dispensados nas recuperações e as janelas de inspeções:

- ✚ Os custos foram pagos integralmente pelos condomínios, com exceção de duas recuperações. Uma apresentou 50% dos custos pagos foi pela construtora e os outros 50% pelo condomínio. A outra foi à recuperação de apenas quatro sapatas e os custos pagos pela construtora. Constataram-se valores onerosos nas recuperações que variaram em função das dimensões das peças, do grau de degradação da fundação e também do procedimento escolhido para restauração da mesma;
- ✚ O último objetivo desta pesquisa seria identificar as fundações que passaram por recuperações e se foi deixada uma janela de inspeção para possíveis verificações posteriores. Em apenas em 4% das fundações foram deixadas janelas de inspeções.

5. CONCLUSÕES

Com o resultado desta pesquisa pode-se ter um panorama real dos procedimentos utilizados nas recuperações nos anos de 2004 até os dias atuais. Porém, sabe-se que nos tratamentos aplicados constataram-se a semelhança desses processos, seguidos de pequenas mudanças. Em entrevista com alguns dos responsáveis pelas empresas, constatou-se que desde as recuperações feitas na ponte Paulo Guerra em 2000, os materiais utilizados e os procedimentos de recuperações obtiveram poucos avanços. A exemplo, a injeção utilizando os purgadores plásticos e metálicos, muito embora o sistema utilizado com os purgadores plásticos ainda é o mais solicitado. Outra mudança verificada ocorreu nos materiais utilizados na injeção, com o uso do microcimento, porém o epóxi permaneceu como material mais usado.

Nas recuperações das fundações executadas fazem-se necessário um acompanhamento efetivo e sistemático uma vez que a Reação Álcali Sílica poderá manifestar-se novamente, pois ainda existem muitas lacunas no tocante aos resultados destas intervenções, revelando-se de extrema importância à aplicação de uma janela de inspeção que possibilite às verificações do acompanhamento. Principalmente nas fundações reabilitadas que não apresentaram acompanhamento técnico de pessoal habilitado e resultados de ensaios, itens preponderantes para a determinação consciente e coerente dos procedimentos a manifestação patológica. Em função disto, tem-se a falta de um diagnóstico concreto que possivelmente levará a utilização de processos equivocados e a continuidade de uma doença não curada. Denotou-se que a busca por menores custos, contrária às boas práticas de execução e garantia de bons resultados. Nas cinquenta fundações pesquisadas, apenas duas deixaram as janelas de inspeções, isso representa 4% das obras pesquisadas que possibilitaram o acompanhamento.

Nos materiais pesquisados, verificaram-se a busca por informações no tocante a química da reação, a microestrutura dos agregados, as medidas mitigadoras, prevenções, porém faz-se necessário um olhar para aquelas fundações recuperadas, as quais não se tem a resposta da eficiência desses procedimentos utilizados enquanto forma de recuperação, nem o tempo de sua durabilidade. A eficácia de resultados futuros no combate a RAA em fundações idosas também deveria ser motivo para acompanhamentos sistemáticos para garantia de sua saúde estrutural.

5. AGRADECIMENTOS

O presente artigo é de grande relevância para a comunidade científica/acadêmica e não seria possível sem a colaboração de todos os participantes que se fizeram presentes durante sua produção e desenvolvimento. Somos imensamente gratos à Universidade Católica de Pernambuco e à Universidade de Pernambuco, pela parceria na elaboração do artigo e pelo apoio através do Edital de Apoio ao Pesquisador - APQ 2019 e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- Andrade, T.; Silva, J. J. R.; Almeida R.; Figueirôa, J. P.; Kihara, Y.; Pecchio, M. (2006), “*Diagnóstico de Reação Álcali-Agregado em Blocos de Fundação de um Edifício Público situado na Cidade do Recife/PE.*” In: II Simpósio Sobre Raa em Estruturas de Concreto. IBRACON.
- Andrade, T. (2006) “*Histórico de Casos de RAA Ocorridos Recentemente em Fundações de Edifícios na Região Metropolitana do Recife.*”, In: II Simpósio Sobre Raa em Estruturas de Concreto. IBRACON.
- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.* Rio de Janeiro.

- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577-1: Guia para Avaliação da Reatividade Potencial e Medidas Preventivas para Uso de Agregado em Concreto*. Rio de Janeiro, 2008. 11p.
- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577-2: Coleta, Preparação e Periodicidade de Ensaio de Amostras de Agregados para Concreto*. Rio de Janeiro, 2008. 2p.
- Associação de Normas Técnicas. (2013) *NBR 15577-3: Análise Petrográfica para Verificação de Potencialidade Reativa de Agregados em Presença de Álcalis do Concreto*. Rio de Janeiro, 2008.8p.
- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577-4: Determinação da Expansão em Barras de Argamassa pelo Método Acelerado*. Rio de Janeiro, 2008.12p.
- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577-5: Determinação da Mitigação da Expansão em Barras de Argamassa pelo Método Acelerado*. Rio de Janeiro, 2008.5p.
- Associação de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15577-6: Determinação da Expansão em Prismas de Concreto*. Rio de Janeiro, 2008.16p.
- Associação de Normas Técnicas. (2014). *NBR 6118: Estruturas de concreto armado – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- Battagin, A.; Silveira, A.L.; Munhoz, F.; Battagin, I. (2016), “A Evolução da Cultura da Prevenção da Reação Álcali-Agregado no Mercado Nacional.” Associação Brasileira de Cimento Portland. In: *Concreto e construções*. Ano 44. Ed. IBRACON.
- Hasparyk, N. P. (1999), “Investigação dos Mecanismos da reação Álcali-Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz e da Sílica Ativa.” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Hasparyk, N. (2005), “Investigação do Concreto Afetados pela Reação Álcali Agregado e Caracterização Avançada do Gel Exsudado.” Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Helene, P. (1992), *Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto*. 2ª Ed. São Paulo, PINI.
- Priszkulnik, S. (2005), *Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto Afetadas pelas reações Cimento-Agregado*. In: ISAIA, G.C. *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: Ed. Ibracon. Vol 2.
- Silva, C. S. (2013), “Reação Álcali-Agregado: Diagnóstico, Tratamento e Cuidados na Execução de Elementos em Concreto Armado nas Fundações da RMR.” Monografia em Engenharia, Universidade de Pernambuco, Recife.
- Silva, G. A. (2007), “Recuperação de Blocos de Coroamento afetados pela reação Álcali-Agregado.” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.
- Munhoz, F. A. C. (2007), “Efeito de Adições Ativas na Mitigação das reações Álcali-Sílica e Álcali-Silicato.” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Otoch, S. (2016), Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?. “A Evolução da Cultura da Prevenção da Reação Álcali-Agregado no Mercado Nacional.” Associação Brasileira de Cimento Portland. In: *Concreto e construções*. Ano 44. Ed. IBRACON.