Estruturas de Concreto Armado
Patologias e suas Consequências
Estudo de Caso

Bernardo Oliveira de Carvalho Santos[1]
Claudia Interlandi[2]

Resumo

Nas patologias de estruturas a corrosão das armaduras destaca-se como um dos principais fatores responsáveis na deterioração das estruturas de concreto armado. Este artigo tem como objetivo apresentar uma coluna de grande dimensão e uma viga de concreto armado de um edifício residencial construído na década de 1940, com colapso parcial de alguns elementos estruturais, identificando os sintomas, diagnósticos e suas causas, bem como as possíveis soluções de recuperação estrutural.

Palavras-chave: concreto armado, viga de concreto armado, corrosão de armadura, patologia, recuperação estrutural.

1 Introdução

De forma geral os materiais têm processos de desgaste natural, normalmente acelerados pelo meio ambiente. Agentes físicos e/ou químicos diversos são responsáveis pela ação agressiva e constante desses processos de deterioração das estruturas.

Este artigo aborda exclusivamente o material de construção composto concreto armado.

A instabilidade química dos materiais também participa das considerações no conjunto de causas, tal como a corrosão das armaduras, que contribui para o surgimento das patologias, suas consequências e por fim a perda de integridade das estruturas.

Em 1902 Emil Mörsch publicou a primeira edição do seu livro, onde desenvolveu a teoria realista iniciada por Koenen e que foi a primeira teoria realista sobre dimensionamento de peças de concreto armado. Mörsch fica intitulado como o criador do cálculo do concreto armado [2] e desde então esse cálculo vem sendo estudado de maneira científica, experimental e normatizado. Critérios recentemente revisados na NBR-6118 [1] intensificam a preocupação quanto a durabilidade ou vida útil das estruturas de concreto armado, evitando ou minimizando patologias recorrentes nas estruturas.

Foi abordado neste artigo um estudo de caso de uma coluna de grande dimensão e outro estudo de caso de uma viga de concreto armado, de um edifício residencial construído na década de 1940, com colapso parcial de alguns elementos estruturais. Foram identificados os sintomas, diagnósticos e suas causas, bem como as possíveis soluções de recuperação estrutural.

2 Metodologia

Este trabalho tem seu desenvolvimento baseado em uma revisão bibliográfica sobre as causas mais comuns de patologias, alguns métodos para seu diagnóstico e posterior análise, a solução dos problemas patológicos encontrados, e mostra as técnicas de recuperação e/ou reforço estrutural possíveis para um caso especifico de um pilar e uma viga sujeitas a corrosão grave. O levantamento de dados e informações se dá por meio de pesquisa eletrônica via "internet", livros dos autores mais reconhecidos no ramo da Engenharia Civil, bem como em dissertações, publicações de revistas e boletins técnicos.

3 Patologias Estruturais mais comuns

O concreto armado está sujeito a alterações ao longo do tempo, em função de interações entre os

1 Mestre em Estruturas pela Politécnica UFRJ – Email: bernardooliveira@yahoo.com
2 Mestre em Estruturas Offshore pela COPPE-UFRJ – Email: clauinterlandi@yahoo.com.br

elementos que o constituem (cimento, areia, brita, água, aditivos e aço) e com agentes externos do meio o qual está inserido, tais como ácidos, bases, sais, gases, vapores, variações térmicas, entre outros. Muitas vezes dessas interações resultam anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura (Quadro 1).

Quando o desempenho da estrutura está ameaçado ou comprometido é que ficam caracterizadas as "enfermidades" do concreto ou da estrutura, que podem ser congênitas – nascem com a estrutura – ou adquiridas ao longo de sua vida, devido à ação direta de inúmeros agentes externos, incluindo seus usuários, ou ainda de fenômenos físicos, entre os quais, choques, terremotos, incêndios, enchentes, explosões, recalques e variações de temperatura.

Para identificar as causas das patologias do concreto é preciso observar suas manifestações, que ocorrem normalmente nas superfícies dos elementos estruturais. No entanto existem elementos que não são normalmente visualizados, como os total ou parcialmente enterrados (fundações, arrimos, piscinas), as faces internas das juntas de dilatação e as do interior de galerias e reservatórios.

Os principais sintomas que podem indicar a existência de patologias das estruturas de concreto armado são:

Quadro 1 – Patologias, suas causas e consequências.

PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
CARBONATAÇÃO	POLUIÇÃO (CO_2)	ACIDEZ NO CONCRETO
CALCINAÇÃO	INCÊNDIO	REDUÇÃO DO f_{ck}
LIXIVIAÇÃO E FLORESCÊNCIA	– INFILTRAÇÕES, POROSIDADE, – TRINCAS, – JUNTAS DE DILATAÇÃO SEM ESTANQUEIDADE	REDUÇÃO DO CALCÁREO NO CONCRETO
NICHOS DE CONCRETAGEM	VIBRAÇÃO INEFICAZ	REDUÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CONCRETO
RUPTURA BRUSCA DO CONCRETO COMPRIMIDO	FALTA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO	COLAPSO PARCIAL OU TOTAL
TRINCAS EM ESTRUTURAS DE COBERTURA	– FALTA DE JUNTAS DE DILATAÇÃO, – AUSÊNCIA DE TELHADO, – NÃO CONSIDERAÇÃO DOS MOMENTOS VOLVENTES	TRINCAS E CORROSÃO DA ARMADURA
CORROSÃO DA ARMADURA	– INFILTRAÇÕES, – PEQUENO COBRIMENTO, – POROSIDADE, – FISSURAÇÃO, – POLUIÇÃO (CO_2), – CHUVA ÁCIDA (H_2SO_4), – PRESENÇA DE CLORETOS, – FALTA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	PERDA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DA ARMADURA

Outras causas podem gerar patologias.

- Ataques por ácidos
- Causas químicas;
- Ciclos de gelo-degelo;
- Deformações por retração e fluência;
- Desgaste por abrasão, erosão e cavitação;
- Efeito de altas temperaturas;
- Ataque de sulfatos;
- Reação álcali-agregado;
- Ataque de água pura;
- Ataque por ácidos;
- Ataque da água do mar;
- Cloretos;
- Biodeterioração do concreto;
- Causas eletroquímicas

– fissuras;
– desagregação;
– disgregação.

As principais patologias nas estruturas de concreto armado são dadas no Quadro 1.

4 A Instabilidade Química do Ferro

Naturalmente o ferro é encontrado sob a forma de óxidos quimicamente estáveis. Após, intencionalmente, sofrer processos metalúrgicos, principalmente com a elevação de sua temperatura e alteração de seu estado físico, o óxido se transforma em ferro elementar:

Fe_2O_3 é o ferro estável
(óxido de ferro ou hematita)
Fe é o ferro elementar instável

Quando o ferro elementar é produzido, torna-se instável e tende a captar moléculas de oxigênio catalisado pela água para se estabilizar novamente. Este processo chama-se oxidação ou corrosão.

Oxidação do Ferro exposto ao ar e umidade (Figura 1):

Oxidação do ferro:

$$Fe(s) \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

Redução do oxigênio:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH$$

Formação da ferrugem:

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$$

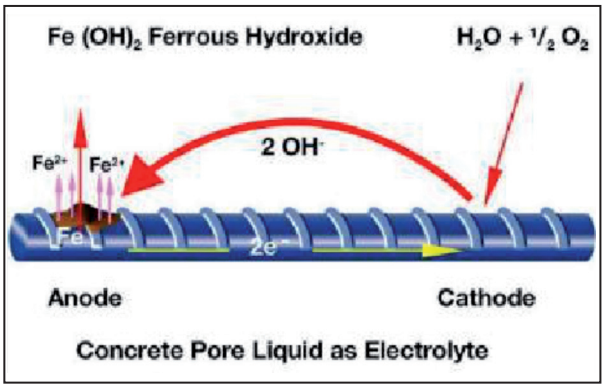

Figura 1 *– Processo de corrosão eletroquímica do aço [3].*

O aço empregado nas estruturas de concreto armado é uma liga composta basicamente de ferro (instável) e tenderá espontaneamente a atingir sua forma estável que é o metal oxidado, com perda das propriedades mecânicas originais. Dessa forma a oxidação e corrosão das armaduras pode ser considerada como a principal causa das patologias nas estruturas, fundamentalmente influenciada pela presença de umidade.

Ataque de água pura

Água subterrânea de lagos e de rios contém contaminações como cloretos, sulfatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. Denominada de água dura, esta geralmente não ataca os constituintes da pasta de cimento Portland. A água pura da condensação de neblina ou vapor, e a água mole da chuva, podem conter pouco ou nenhum íon de cálcio. Quando estas águas entram em contato com a pasta de cimento Portland, elas tendem a hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio. O hidróxido de cálcio é o constituinte que, devido à sua solubilidade alta em água pura, é mais sensível à eletrólise, ocorrendo a lixiviação. Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio pode ser indesejável por razões estéticas. Frequentemente, o produto da lixiviação interage com o CO_2, presente no ar, e resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, fenômeno conhecido como eflorescência [5].

Causas químicas

O contato do concreto com ácidos em altas concentrações não é habitual. Já a ação de chuvas ácidas nos grandes centros e nas áreas industriais é mais frequente. Os ácidos sobre o concreto atuam destruindo seu sistema poroso e produzindo uma transformação completa na pasta de cimento endurecida. O resultado destas ações é a perda de massa e uma redução da seção do concreto. Essa perda acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta, sendo a velocidade da degradação proporcional à quantidade e concentração do ácido em contato com o concreto [6].

Os fluidos agressivos podem penetrar nos poros do concreto de três formas: difusão, resultado da diferença de concentrações iônicas entre os fluidos externos e internos; por pressão hidrostática, resultado da diferença de pressão dos fluidos; por forças capilares, resultado de mecanismos capilares. A penetração pode ser resultado também de uma combinação de forças, que podem ser influenciadas por temperaturas, correntes elétricas, *etc* [7].

As reações químicas se manifestam por meio de efeitos físicos nocivos, tais como o aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e destacamento. Atenção especial deve ser dada ao ataque de sulfatos, ataque por álcali-agregado

e corrosão das armaduras, uma vez que estes fenômenos são responsáveis pela deterioração de um grande número de estruturas de concreto [5].

Os ataques ao concreto armado que geram corrosão no aço também podem ocorrer por:

- ataques por ácidos;
- ataques da água do mar;
- carbonatação;
- cloretos,
- biodeterioração do concreto,
- causas eletroquímicas.

5 Estudo de Caso

Em um endereço fictício, a fim de ser preservado o anonimato do cliente foi realizada uma visita técnica atendendo a uma solicitação do sindico do referido condomínio. Durante a visita foi ressaltada a necessidade de um parecer de um engenheiro estrutural para melhor avaliação da estrutura. Foi realizada uma inspeção técnica visual, com a presença do engenheiro estrutural, em um dos pilares de um dos ambientes da edificação.

O escopo do serviço compreendeu a avaliação estrutural a partir da inspeção visual, com registro fotográfico e ensaios à percussão em todas as áreas afetadas dos referidos pilar e viga, ambos com mais de 70 anos de executados.

5.1 Descrição das patologias

A situação em que se encontrava a estrutura é mostrada nas Fotos de 1 a 9.

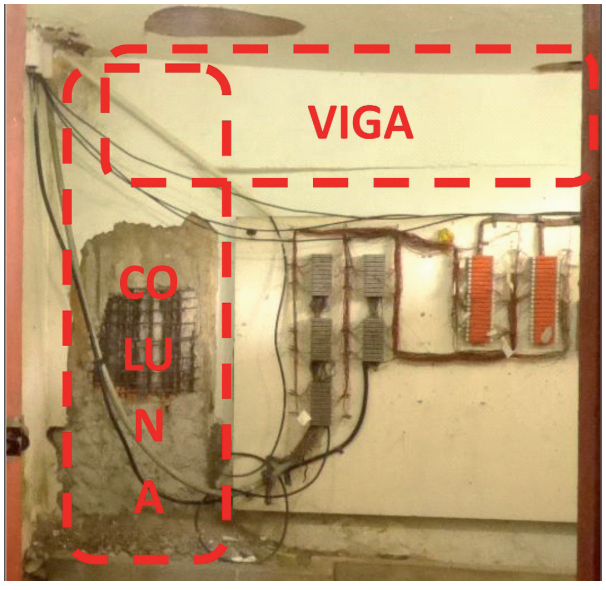

***Foto 1** – Locação dos elementos estruturais.*

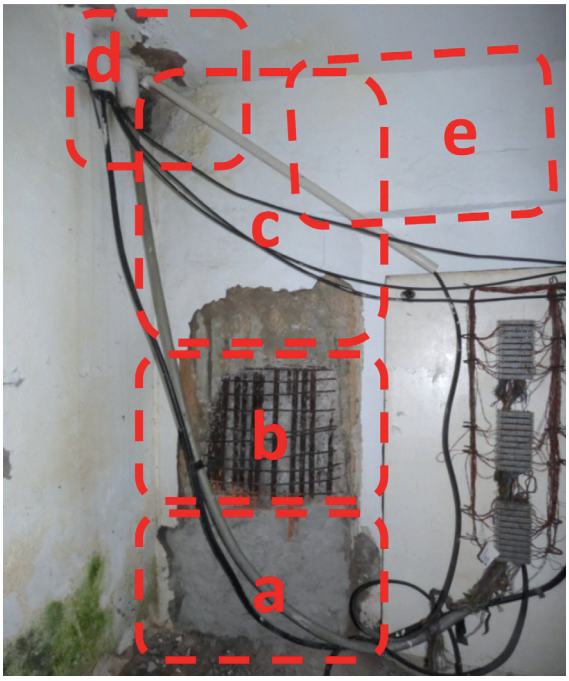

***Foto 2** – Regiões de interesse.*

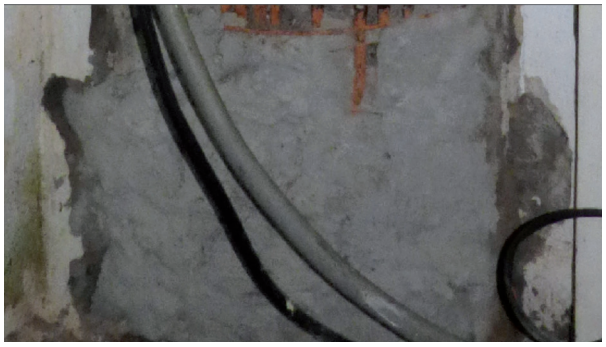

***Foto 3** – Região "a" – pilar.*

***Foto 4** – Região "b" – pilar.*

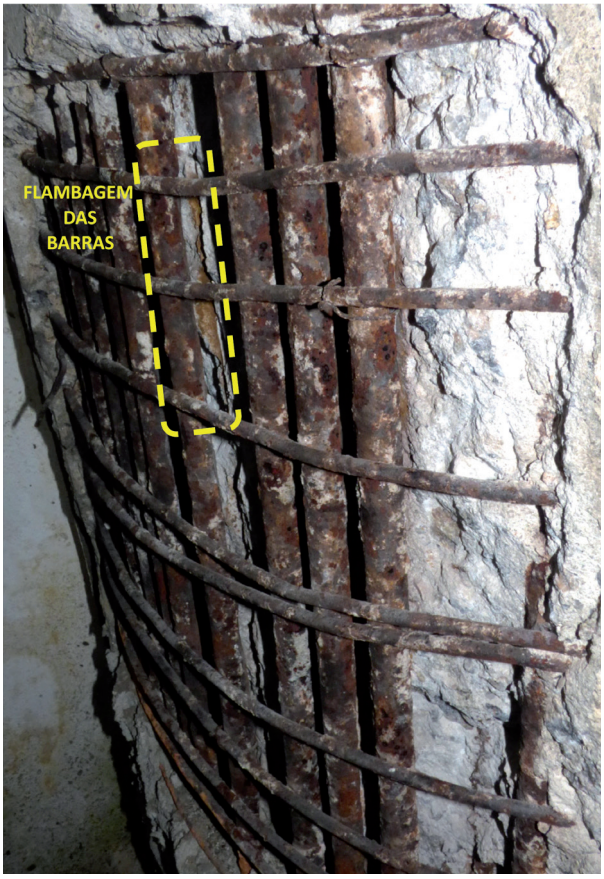

***Foto 5** – Região "b" – pilar.*

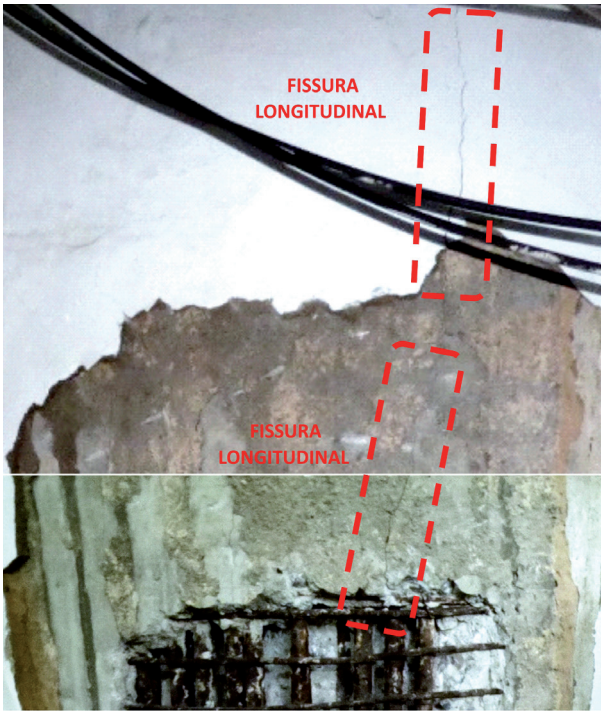

***Foto 6** – Região "c" – pilar.*

Na região "a", as patologias não puderam ser observadas, pois já houve alguma intervenção expedita com argamassa simples, de resistência f_{ck} desconhecida. O tratamento dado às armaduras não pôde ser verificado. A intervenção foi realizada sem a contratação de uma equipe de engenharia para o projeto e a execução da recuperação estrutural.

Na região "b" tem-se as armaduras visíveis à inspeção. Nessa região, o material concreto no maciço da seção transversal da coluna não apresenta trincas ou evidências de colapso por compressão.

As armaduras apresentam seção reduzida devido ao processo de corrosão. As infiltrações incidentes no pilar aceleraram o processo de corrosão, além do cobrimento original ser da ordem de 1 cm, abaixo do preconizado atualmente na NBR-6118 [1].

Houve ruptura de alguns estribos originais e barras adicionais transversais foram incluídas, paralelas aos estribos existentes. Essas não circundam todo o perímetro do pilar, não conferindo efeito estrutural de estribo para a contenção da flambagem das barras longitudinais da coluna.

As armaduras longitudinais (verticais) flambaram por compressão, conforme apresentado na Foto 5. A flambagem das barras pode ter ocorrido por falha (ruptura ou escoamento) dos estribos ou pela retirada excessiva do material concreto nessa região "b" durante a fase da intervenção expedita.

Na região "c" as fissuras longitudinais do pilar podem indicar a expulsão do cobrimento pela oxidação e aumento de volume das armaduras ou a flambagem das armaduras longitudinais. O cobrimento apresenta-se em parte disgregado.

***Foto 7** – Região "d" – infiltração.*

Na região "d", assim como em todo o teto do ambiente analisado existem grandes áreas de infiltração. Em alguns trechos a presença de umidade é permanente devido a tubulação de água e/ou esgoto com vazamentos. Também foram detectadas causas de infiltrações provenientes de águas pluviais por

vazamentos em drenagens de águas pluviais e elementos de vedação danificados (mastique ressecado), não aderidos ou inexistentes nas juntas de dilatação da edificação.

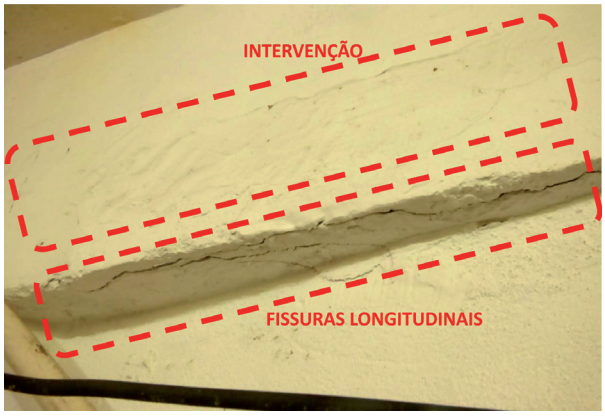

Foto 8 – Região "e1" – próxima ao apoio esquerdo da viga.

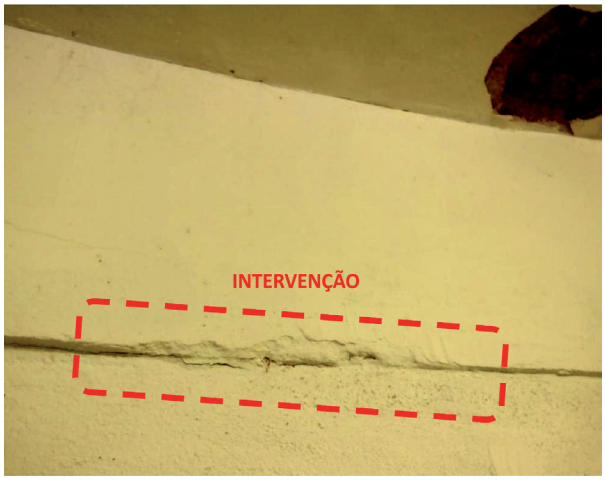

***Foto 9** – Região "e2" – trecho central do vão da viga.*

No trecho próximo ao apoio esquerdo da viga, na região "e1", Foto 8, houve expulsão do cobrimento devido à expansão volumetrica da armadura longitudinal em processo avançado de corrosão, originando fissuras longitudinais no bordo inferior da viga. Houve uma intervenção expedita com argamassa simples a fim de tratar os trechos desplacados de cobrimento desagregado no bordo inferior. Na lateral da viga também houve intervenção com argamassa simples devido ao desplacamento de trechos consideráveis de concreto afetado pela lixiviação oriunda da grande infiltração no canto esquerdo superior da viga.

No trecho central do vão da viga, na região "e2", houve uma intervenção expedita com argamassa simples a fim de tratar os trechos desplacados de cobrimento desagregado. Nessa região houve também, expulsão do cobrimento devido à expansão volumétrica da armadura longitudinal em processo avançado de corrosão. Os ensaios à percussão nas regiões "e1" e "e2" mostraram que as argamassas aplicadas são ineficazes como função de cobrimento, pois as células de corrosão ali criadas estão ativas, já que as barras não foram tratadas adequadamente, e novamente ocorrerá o desplacamento.

5.2 Solução de recuperação para a coluna

As etapas seguintes compõem uma sequência sugerida para a recuperação da coluna.

- Escoramento das vigas e lajes que se apoiam no pilar.
- Remoção mecânica de toda a argamassa aplicada na fase de intervenção expedita.
- Remoção mecânica de toda a camada oxidada da armadura existente.
- Apicoamento do concreto remanescente do pilar.
- Aplicação de argamassa cimentícia polimérica, com pincéis e trinchas em toda a extensão das armaduras longitudinal e transversal expostas, com o intuito de passivação química, inibindo a corrosão.
- Montagem de novas armaduras longitudinais que, somadas com as áreas remanescentes, complementem toda a área de seção transversal original. As barras que apresentam evidência de flambagem não deverão ser computadas. Os traspasses deverão ser considerados a partir dos trechos de armadura íntegra.
- Montagem de novas armaduras transversais que, somadas com as áreas remanescentes, complementem toda a área de seção transversal original. As barras que apresentam evidência de ruptura ou escoamento deverão ser integralmente substituídas. Os estribos deverão circundar todas as armaduras longitudinais.
- Execução dos reparos necessários nas vigas que se apóiam nesta coluna.
- Montagem das formas. Estas deverão conter aberturas inferiores para a injeção da argamassa fluida alto adensante com f_{ck} igual ou superior ao do projeto original, e um purgador na parte superior da forma, evitando nichos de concretagem.
- Injeção da argamassa sob pressão.
- Estas última e penúltima etapas podem ser substituídas por aplicação de concreto projetado.

As etapas descritas anteriormente não garantem a capacidade de carga admissível da coluna original, visto que as cargas permanentes que eram absorvidas pelas barras flambadas foram assumidas pelos elementos estruturais adjacentes hiperestáticos e pelo maciço da própria coluna.

Para o restabelecimento da capacidade de carga admissível do projeto original, somente o macaqueamento das estruturas que se descarregam neste pilar poderia aliviá-lo e assim colocá-lo em carga juntamente com as novas armaduras. Porém, houve a redistribuição das cargas sem avarias evidentes nos elementos estruturais adjacentes durante a inspeção visual.

A estrutura apresenta alto grau de hiperestaticidade com a formação dos pórticos entre os pilares, conferindo uma condição favorável para a redistribuição das cargas.

As armaduras novas serão mobilizadas na atuação das sobrecargas verticais e também para as flexões devidas a dilatações térmicas e cargas de vento.

5.3 Solução de recuperação para a viga

As etapas seguintes compõem uma sequência sugerida para a recuperação da viga.

- Escoramento da viga e lajes que se apóiam na viga.
- Remoção mecânica de toda a argamassa aplicada na fase de intervenção expedita.
- Remoção mecânica de toda a camada oxidada da armadura existente.
- Apicoamento do concreto remanescente.
- Aplicação de argamassa cimentícia polimérica, em toda a extensão das armaduras longitudinal e transversal expostas.
- Montagem de novas armaduras longitudinais que, somadas com as áreas remanescentes, complementem toda a área de seção transversal original.
- Montagem de novas armaduras transversais que, somadas com as áreas remanescentes, complementem toda a área de seção transversal original. As barras que apresentam evidência de ruptura ou escoamento deverão ser integralmente substituídas. Os estribos deverão circundar todas as armaduras longitudinais.
- Montagem das formas. Estas deverão conter aberturas inferiores para a injeção da argamassa fluida alto adensante com f_{ck} igual ou superior ao do projeto original, e um purgador na parte superior da forma, evitando nichos de concretagem.
- Injeção da argamassa sob pressão.
- Essas última e penúltima etapas podem ser substituídas por aplicação de concreto projetado.

As etapas descritas não garantem a capacidade de carga admissível da viga original. As armaduras novas serão mobilizadas na atuação das sobrecargas verticais e também para as solicitações devidas às dilatações térmicas e cargas de vento.

6 Conclusões

6.1 Pilar

O pilar inspecionado não mostra nenhuma evidência visual de colapso do material concreto.

As amaduras apresentam evidências de flambagem, na região “b”, provavelmente por falha dos estribos por corrosão excessiva. São recomendadas as medidas descritas no item 5.1.

Na região “c” as fissuras longitudinais do pilar podem indicar a expulsão do cobrimento pela oxidação e aumento de volume das armaduras ou a flambagem das armaduras. Recomenda-se uma investigação mais detalhada com a retirada do cobrimento atual.

É recomendada uma avaliação da carga atuante neste trecho de pilar (regiões “a”, “b” e “c”), assim como o cálculo estrutural deste elemento para a comprovação de sua integridade e, consequentemente, o detalhamento do reforço a ser executado nas armaduras.

É fundamental a elaboração de um projeto de recuperação e/ou reforço estrutural em toda a extensão das regiões “a”, “b” e “c” do pilar inspecionado.

6.2 Viga

A viga, em suas regiões “e1” e “e2”, conectada ao pilar inspecionado, apresenta seu cobrimento já disgregado em toda a extensão da viga.

É recomendada a remoção de todo o cobrimento desagregado para uma futura inspeção e em seguida a elaboração de projeto de reforço e/ou recuperação estrutural.

6.3 Infiltrações

A área em questão apresenta infiltrações provenientes do pavimento superior possivelmente oriunda de danos nas tubulações hidráulicas.

É recomendado o reparo imediato de todas as fontes de infiltração detectadas para minimizar ou evitar as atuais e futuras patologias nas estruturas.

Referências

[1] ABNT NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, 2014.

[2] VASCONCELOS, A. C., TQS, Artigo: O ciúme entre gigantes, Ed. 22, 2006.

[3] Processo de corrosão eletroquímica do aço. Catálogos SIKA, 2006.

[4] LAPA, J. Silva, Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

[5] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Tradução de Paulo Helene *et al.* 1ª ed. São Paulo, PINI, 1994. 580p. ISBN 85-7266-040-2.

[6] ANDRADE, J. J. O. *et al.* Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química. In: Congresso Brasileiro do Concreto – REIBRAC, 45, 2003, Vitória – ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003.

[7] FERREIRA, Rui Miguel. Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão. 2000. 246 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.