Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO DA CORROSÃO NOS PILARES DA ESTRUTURA DE UM GALPÃO LOCALIZADO EM RECIFE-PE.

T. O. CHAVES
Engenheiro Civil
Universidade de Pernambuco
Pernambuco;Brasil
r.alves104510@hotmail.com

J. L. M. RAMOS
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
j_l14@hotmail.com

R. A. BERENGUER
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
templarios_pm@hotmail.com

F. L. CARNEIRO
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
fabiocarneiro14@hotmailcom

E. C. NASCIMENTO
Estudante
Universidade Católica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
elivelthoncarlos@yahoo.com.br

E. C. B. MONTEIRO
Drª. Professora
Universidade Católica de Pernambuco e
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
eliana@poli.br

RESUMO

A presente pesquisa aborda a inspeção de um galpão situado no município de Recife no Estado de Pernambuco para averiguar o nível do comprometimento estrutural dos pilares desta edificação. O galpão utilizado como estudo de caso é uma estrutura aporticada pré-moldada de concreto armado, possui dois pavimentos com laje pré-moldada nervurada e fundação direta em sapatas isoladas. A Estrutura estuda para fins de classificação da agressividade do meio ambiente o galpão fica próximo ao mar. Na inspeção foram propostos três ensaios técnicos: O Ensaio de Esclerometria, o de Profundidade de Carbonatação e o de Poteciais de Corrosão. O ensaio realizado com o esclerômetro de reflexão, através da estimativa da resistência à compressão com a correlação do índice esclerométrico médio, indicou que os concretos dos pilares possuem uma resistência à compressão inferior que a exigida em norma. O ensaio de profundidade de carbonatação com aspersão do indicador fenolftaleína mostrou que a frente de carbonatação já havia atingido as armaduras dos pilares. No ensaio de Potencias de Corrosão ficou constatado que em dois dos pilares do galpão já iniciaram o fenômeno de corrosão ativa das armaduras. Os resultados dos ensaios técnicos indicaram a necessidade da recuperação dos pilares da estrutura, portanto esta pesquisa possui recomendações para um correto reparo das peças comprometidas.

Palavras-chave: carbonatação, corrosão,inspeção.

ABSTRACT

This research deals with the inspection of a warehouse located in the city of Recife in Pernambuco State to ascertain the level of structural impairment of the pillars of this building. The shed used as a case study is a precast aporticada structure of reinforced concrete, has two floors with precast slab ribbed and direct foundation in isolated shoes. The structure studies for environmental aggressiveness of classification purposes the shed is near the sea. Inspection were proposed three technical trials: The rebound hammer test, the depth of carbonation and Corrosion Poteciais. The assay performed with the esclerometer reflection through the compressive strength of the estimated correlation with the average rebound hammer index indicated that the concrete pillars have a resistance to compression less than that required in the standard. The test carbonation depth with phenolphthalein indicator sprinkling of showed that carbonation had already reached the armor of the pillars. In Corrosion Potential test was found that in two of the shed

pillars have already begun the active corrosion phenomenon of armor. The results of technical tests indicated the need for recovery of the pillar structure, so this research has recommendations for proper repair of the affected parts.
Keywords: carbonation, corrosion, inspection

1. INTRODUÇÃO

A modernização dos procedimentos e técnicas construtivas é um assunto bastante atual e que vem crescendo aceleradamente no ramo da construção de edifícios. A preocupação com a qualidade dos materiais empregados, a geração de entulhos, gestão de projetos entre outros tópicos vão abrindo espaço para conceitos, antes adormecidos no mundo construtivo, como a durabilidade e vida útil das edificações. Estes conceitos, que estão intimamente conectados e que, cada vez mais, vêm sendo cogitados durante a fase de projeto e execução das estruturas de concreto, tornaram-se fator primordial atentar as recomendações dos profissionais da engenharia civil sobre a conservação dos elementos estruturais e a manutenção preventiva dos edifícios.

As causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento natural da estrutura até os acidentes ou ainda a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes, alegando razões econômicas.

Dentre todos os elementos estruturais existentes nas edificações, optou-se por estudar o estado de conservação e a durabilidade dos pilares, tendo em vista que esta peça estrutural é bastante importante para a estabilidade global da estrutura. Além de que a corrosão localizada no pilar é uma manifestação patológica muito recorrente em obras de edifícios.

Essa pesquisa tem como objetivos identificar, qualificar e quantificar a corrosão nos pilares pré-moldados de um galpão localizado em Recife-PE. Realizar uma análise dos pilares em questão prevendo a utilização de ensaios técnicos. Além de enquadrar e classificar a edificação, segundo a norma vigente, quanto à classe de agressividade ambiental e quanto ao risco de deterioração da estrutura devido a sua inserção no meio ambiente. As vistorias técnicas foram realizadas pelos Engenheiros do ITEP (Instituto de Tecnologia de Pernambuco) Carlos Welligton Pires Sobrinho e Aroldo Vieira de Melo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização do Meio Ambiente Segundo a NBR 6118:2014

Segundo [1] para os estudos da durabilidade e conservação das estruturas de concreto é necessário conhecer o meio ambiente onde as mesmas estão inseridas, pois este meio pode fazer com que a estrutura tenha sua vida útil reduzida significativamente. De acordo com o tipo de ambiente onde as edificações estão inseridas são classificadas a ação do meio sobre as estruturas de concreto.

2.1.1 Classes de Agessividade Ambiental

Hoje em dia, a durabilidade das estruturas de concreto deve ser relacionada com os parâmetros contemplados pela norma brasileira [2]. A revisão da norma resultou em uma forma mais coerente de classificação de ambientes e de recomendações de concreto para cada ambiente. A correlação da qualidade do concreto com as diferentes classes de agressividade ambiental foi o grande avanço no âmbito da durabilidade das estruturas de concreto armado.

Segundo [2] as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Cobrimento nominal é a espessura mínima de concreto entre a superfície da armadura e a periferia da peça de concreto armado. As ferragens da armadura devem estar separadas da atmosfera, meio ambiente agressivo, em todas as direções,

no mínimo, pelo cobrimento nominal. A função do cobrimento é, justamente, proteger a ferragem do concreto armado da agressividade do ambiente.

De acordo com [2] para garantir o cobrimento mínimo (c_{min}) o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Assim, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais, estabelecidos em norma, para $\Delta c = 10$ mm.

O cobrimento nominal insuficiente facilita a entrada de substâncias agressivas, como: oxigênio, íons cloreto, dióxido de carbono, entre outras. Estas substâncias causam a despassivassão, corrosão e deterioração das armaduras reduzindo a vida útil das estruturas. Uma das mais importantes contribuições da [2] é relacionar o cobrimento com a classe de agressividade, tendo em vista aumentar a durabilidade (vida útil) das estruturas de concreto armado.

2.2 Mecanismo da Corrosão das Armaduras

Quando o concreto se combina com o cimento, a água, o agregado, e se necessário com aditivos, seus diversos componentes se hidratam formando um conglomerado sólido. O concreto resulta, portanto, em um sólido compacto e denso, porém poroso. A rede de poros permite que o concreto apresente certa permeabilidade aos líquidos e gases. Mesmo que o cobrimento das armaduras seja uma barreira física, esta é permeável, em certa medida, e permite o acesso de elementos agressivos.

De acordo com [3], a mais generalizada das patologias do concreto é a corrosão das armaduras, principalmente em peças de concreto aparente. A corrosão do aço é a sua transformação em Fe(OH)n, onde pode ser o Fe(OH)2 que é o hidróxido ferroso ou hidróxido de ferro II e também pode ser o Fe(OH)3 que é o hidróxido férrico ou hidróxido de ferro III. Este hidróxido é a ferrugem, material fraco e, pulverulento ou escamado, que não tem aderência ou coesão, e aumenta de volume à medida que se forma até alcançar de oito a dez vezes o volume do aço que lhe deu origem.

O cloro também é encontrado na água do mar, na atmosfera e esgotos industriais, em muitos detergentes, etc. Reações semelhantes as do cloro e cloretos sucedem com o enxofre e sulfato, com amônia e nitrato. Ainda de acordo com [3], a corrosão química pode ocorrer eventualmente sem a penetração de substâncias corrosivas. O aço, ao ar livre, em presença de oxigênio, pode ou não se transformar em ferrugem. Quando bem polido e nas temperaturas ambientes é difícil à corrosão química, a não ser que haja outras substâncias na atmosfera.

A armadura do concreto, nas primeiras idades e nas idades mais avançadas, está em meio alcalino ideal e, portanto o aço está em forma passiva: entretanto, por diversas causas, esta passividade pode desaparecer em pontos localizados, que seria a corrosão localizada ou sob tensão; ou desaparecer completamente, que seria a corrosão generalizada. Para que haja perda da passividade e se inicie a corrosão do aço, é preciso que apareçam causas que possibilitem a criação de correntes elétricas de suficiente diferença de potencial para gerar uma pilha que desencadeie o processo corrosivo.

Quando há corrosão acentuada, o primeiro efeito é o aparecimento de manchas avermelhadas na superfície do concreto. O segundo, e bem mais grave, é conseqüência da expansão, que pressionando o concreto e, com o tempo, o faz estourar. Outro efeito é o descolamento da armadura.

2.3 Corrosão das Armaduras em Pé de Pilar

A corrosão das armaduras em pé de pilar é uma manifestação patológica encontrada freqüentemente em garagens de edifícios. Devido a falta de cuidados durante a concretagem, ocorrem nesta região, problemas de segregação no concreto formando ninhos de concretagem. Por este motivo a região permanece com uma maior heterogeneidade e permeabilidade aos gases e líquidos. Como o pilar se situa em ambiente urbano, há nas suas proximidades, uma maior concentração de dióxido e monóxido de carbono (CO2 e CO). Esses gases são altamente agressivos as estruturas, pois possibilitam a reação com elementos alcalinos presentes no concreto (Ca(OH)2, NaOH e KOH), proporcionando a diminuição do pH do concreto de valores em torno de 12,5 para 8, sendo esse fator primordial para a iniciação da corrosão da armadura.

Segundo [3] o potencial de corrosão na base dos pilares é mais eletronegativo do que na região central dos mesmos. A seguir são apresentadas algumas teorias para explicar essa tendência.

1) Lançamento do concreto - É consenso que o lançamento do concreto, a partir de uma certa altura, sem cuidados extras, pode conduzir à sua segregação e que isso tende a ocorrer, principalmente, na base dos pilares. O resultado do fenômeno citado é a menor concentração de pasta e, conseqüentemente, maior concentração de agregados nesta região. Isso leva ao surgimento de uma região com concreto mais pobre e outra com concreto mais rico em cimento. A região mais pobre é justamente a base do pilar e é onde existe a tendência de valores de potencial de corrosão mais negativos.
2) Grande densidade de armadura - A base dos pilares consiste em uma região onde a densidade de armaduras é mais elevada, já que é neste local que se faz o traspasse das armaduras. Este fato pode dificultar o adensamento do concreto lançado na base dos pilares e também pode ser um fator de influência dos valores de potencial de corrosão.
3) Permanência de umidade - Pensando em um pilar exposto ao ambiente, é fácil imaginar que, por gravidade, a água tende a se acumular por mais tempo na base dos pilares. Desse modo, imaginando um pilar úmido, sabe-se que o concreto mais próximo da laje de cobertura seca mais rápido do que o concreto que está próximo da laje de piso. Isso também explica os valores de potencial de corrosão mais negativos na base dos pilares.
4) Sinergia entre 1, 2 e 3 - A influência do meio ambiente com o efeito sinérgico dos fatores citados anteriormente também serve para explicar a tendência dos resultados encontrados. Se o concreto da base dos pilares apresenta uma maior tendência a ser mais poroso pela segregação e dificuldade de adensamento devido a alta concentração de armaduras, é fácil concluir que esta será uma região com tendência a sofrer mais com a contaminação por íons cloretos e pelo dióxido de carbono. A conseqüência disso é que estas regiões tendem a sofrer despassivação do aço mais rapidamente. Como já foi defendido, esta é também uma região com tendência a maior permanência de umidade, o que favorece ao desenvolvimento de corrosão de armaduras.

2.4 Ensaios Técnicos em Concreto Armado

2.4.1 Ensaio de Esclerometria

Com o intuito de avaliar a homogeneidade e a resistência estimada do concreto foi realizado o ensaio de esclerometria, segundo a metodologia da norma brasileira [4] "Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão".

Trata-se de um método não-destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Segundo [4] o esclerômetro de reflexão consiste fundamentalmente em uma massa-martelo que, impulsionada por mola, se choca através de uma haste, com ponta em forma da calota esférica, com a área de ensaio. A energia do impacto é, em parte, utilizada na deformação permanente provocada na área do ensaio e, em parte, conservada elasticamente, propiciando, ao fim do impacto, o retorno do martelo.

O índice esclerométrico é o valor obtido através de um impacto do esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho, correspondente ao recuo do martelo.

Segundo [4] os métodos esclerométricos devem ser empregados principalmente nas devidas circunstâncias:

- Averiguação da uniformidade da dureza superficial do concreto;
- Casos onde se deseja comparar a qualidade de peças de concreto;
- Estimativa da resistência à compressão do concreto.

2.4.2 Profundidade de Carbonatação

Segundo [1] o composto químico que desencadeia o fenômeno da carbonatação do concreto é bem conhecido, facilmente encontrado nos centros urbanos. Um bom exemplo são os túneis e viadutos. Nestes ambientes, o concreto está exposto à alta concentração de gás carbônico (CO2). Esse dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, dilui-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado ácido carbônico (H2CO3).

Este ácido reage com alguns componentes da pasta de cimento hidratada e resulta em água e carbonato de cálcio (CaCO3). O composto que reage rapidamente com (H2CO3) é o hidróxido de cálcio (Ca(OH)2). O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém durante a sua formação consome os álcalis da pasta (ex: Ca(OH)2 e C-S-H) e reduz o pH. [5]

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Segundo [6] a principal reação que ocorre neste processo é:

$$Ca(OH)2 + CO2 \rightarrow CaCO3 + H2O$$

Esta reação é possível quando os compostos estão dissolvidos na fase aquosa. A dissolução do Ca(OH)2 é controlada pela presença do OH- oriundos da dissolução dos hidróxido de sódio e potássio que normalmente são os primeiros a carbonatar. O hidróxido de cálcio da fase sólida, terá então maior facilidade de diluir-se na fase aquosa, aumentando progressivamente a frente de carbonatação, ou seja a região com pH em torno de 9.

Segundo [1] o concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 8,5. A carbonatação inicia-se na superfície da estrutura e forma a frente de carbonatação, composta por duas zonas com pH distintas (uma básica e outra neutra). Esta frente avança em direção ao interior do concreto e quando alcança a armadura ocorre a despassivação do aço e este se torna vulnerável.

Após a despassivação, o processo de corrosão será iniciado se ao mesmo tempo houver umidade (eletrólito), diferença de potencial (exemplo: diferença de aeração ou tensões entre dois pontos da barra ou do concreto), agentes agressivos (exemplo: CO2 ou fuligem) e oxigênio ao redor da armadura.

Segundo [1] os danos causados são vários, como fissuração do concreto, destacamento do cobrimento do aço, redução da seção da armadura e perda de aderência desta com o concreto.

A frente de carbonatação pode ser visualizada através de indicadores de pH apropriados, tais como fenolftaleína e timolftaleína. Estes indicadores adquirem colorações vermelho carmim e violeta, respectivamente, para as regiões alcalinas (não carbonatadas) e ficam incolores na zona carbonatada. Quando esta frente com pH baixo atinge a superfície da armadura, a película passivadora é rompida, e o processo de corrosão é iniciado.

Segundo [6] como a carbonatação resulta numa redução de alcalinidade do concreto, saber a medida de profundidade de carbonatação é importante para se controlar o tempo de despassivação da armadura. O método usual é em pulverizar uma superfície recém-fraturada do concreto com fenolftaleína ou timolftaleína, que são soluções indicadoras de pH. A solução de fenolftaleína é composta de 1 g de fenolftaleína dissolvida em 99 g de álcool.

2.4.3 Potenciais de Corrosão

Segundo [3] o emprego do método de avaliar o potencial de corrosão para inspeção em estruturas de concreto armado iniciou-se nos EUA por volta da década de 70, passando a ser muito utilizada tanto neste país como na Europa nos últimos anos. Uma boa utilidade desse método é o mapeamento dos valores de potencial de corrosão, pois tais mapas possibilitam a identificação de zonas comprometidas e com aço despassivado.

O potencial de corrosão pode identificar os locais com as condições termodinâmicas que viabilizam o início do fenômeno de corrosão eletroquímica das armaduras no concreto armado, ainda que esta corrosão não esteja manifestada de forma aparente na superfície da peça de concreto armado.

Segundo [3] esse procedimento, que alia a interpretação de valores de potencial de corrosão com velocidade de corrosão, é atualmente o mais recomendável para o monitoramento da durabilidade das armaduras de estruturas de concreto armado.

Segundo [6] uma vantagem do método de medida de potencial de corrosão é que ele pode ser aplicado tanto para pequenos corpos de prova em laboratório quanto em estruturas de grandes dimensões.

Segundo [3] o método de avaliação do potencial de corrosão compreende o uso de um eletrodo de referência acoplado a um voltímetro de alta impedância. O ensaio geralmente é realizado em corpos-de-prova ou em estruturas de concreto armado para o monitoramento ou avaliação pontual, no caso de uma inspeção em que não se disponha de tempo para o acompanhamento da variação das leituras ao longo do tempo.

Dessa forma, é necessário que se tenha um eletrodo de referência (geralmente de cobre/sulfato de cobre) em relação aos quais os potenciais são referenciados. As leituras de potencial de corrosão obtidas fornecem indícios dos riscos de corrosão, como indicado no Tabela 1.

Tabela 1 - Critério de avaliação das medidas de potencial de corrosão [7]

Potencial de corrosão (Ecorr) relativo ao eletrodo de referência de cobre - sulfato de cobre	Probabilidade de corrosão
< -350 mV	90%
entre -35 e -200mV	Incerta
> -200 mV	10%

Segundo [3] a rigor, o que se tem é o registro, em determinados pontos da estrutura, de uma diferença de potencial (ddp) entre um eletrólito instável (sistema aço/concreto) e outro estável, que é o eletrodo de referência. Quando se aplica o dispositivo, forma-se uma pilha eletroquímica constituída pelas duas partes previamente mencionadas.

Em geral, o que se observa nas medidas de potencial de eletrodo em concreto é um fluxo que vai desde a armadura até o eletrodo de referência, com o fechamento do circuito entre as duas partes ocorrendo de forma iônica através de uma interface altamente condutiva.

Segundo [3] como o potencial do eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre é mais nobre (valores mais positivos) do que o potencial do sistema aço/concreto, normalmente os valores obtidos são negativos independente do estado da armadura.

O eletrodo de referência pode ser movido sobre a superfície do concreto para se desenvolver um mapa de potencial que mostra os possíveis locais de corrosão ativa na estrutura.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição e Caracterização da Estrutura do Estudo de Caso

Apresente pesquisa aborda a inspeção de um galpão situado no município de Recife no Estado de Pernambuco para averiguar o nível do comprometimento estrutural dos pilares desta edificação. O galpão utilizado como estudo de caso é uma estrutura aporticada pré-moldada de concreto armado. O galpão possui dois pavimentos com laje pré-moldada nervurada e fundação direta em sapatas isoladas. O galpão do estudo de caso possui 14 pilares que serão utilizados como espaço amostral.

Os ambientes encontrados no local do estudo de caso e que são abordados neste projeto de pesquisa são o urbano e o marinho.

O meio ambiente onde fica o galpão em estudo, além de ser um ambiente urbano, pode ser classificado como meio ambiente marinho devido à proximidade do mar. Os pilares do galpão em questão estão sofrendo influência da zona de atmosfera marinha. Nesta zona, as estruturas não estão em contado direto com a água do mar, mas os ventos podem carregar uma quantidade razoável de sais, podendo formar depósitos salinos na superfície do concreto. Os sais, como por exemplo, os cloretos, são carregados na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina, onde interagem com os ciclos de molhagem e secagem da superfície do pilar. A zona de atmosfera marinha tem como principal mecanismo de degradação a corrosão das armaduras pela ação dos íons cloreto.

O galpão do estudo de caso está localizado em um nível de agressividade elevado por estar a uma distância menor que 130 m do mar.

Devido a essas características do ambiente do edifício em estudo, segundo [1] o mesmo se enquadra na classe de agressividade ambiental II e na classe de agressividade ambiental III. A classe de agressividade ambiental II possui ambientes de agressividade moderada e risco pequeno de deterioração da estrutura. Já a classe de agressividade ambiental III possui ambientes de agressividade forte e grande risco de deterioração da estrutura. Portanto adota-se a

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

classe de agressividade ambiental III por possuírem critérios mais rígidos para garantirem a durabilidade da estrutura. É importante salientar que os agentes agressivos do meio urbano, como CO e o CO2, não sejam desprezados na análise do estado de conservação da edificação.

Para o edifício que está locado no ambiente de classe de agressividade ambiental III a relação água/cimento em massa do concreto armado deve ser menor ou igual a 0,55 e deve ter a resistência a compressão maior ou igual a 30 Mpa. Os pilares de concreto armado, que são os elementos abordados nesta pesquisa, devem ter 40 mm de cobrimento nominal.

3.2 Inspeção da Estrutura do Estudo de Caso

Na vistoria realizada constatou-se que todos os pilares pré-moldados apresentaram manifestações patológicas visíveis aparentemente de mesma gravidade. Em uma recente reforma foi aplicada uma camada de revestimento sobre os pilares dificultando uma melhor avaliação destas estruturas. Foi constatado ainda que as fissuras apresentadas nesses pilares, fruto do processo de recuperação, fossem possivelmente geradas por retração nessa argamassa de revestimento.

Nas inspeções realizadas foram feitos os seguintes ensaios técnicos: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, profundidade de carbonatação e potenciais de corrosão. Os dados dos ensaios técnicos foram retirados do Relatório Técnico do ITEP de 27 de novembro de 2012.

3.3 Ensaios Técnicos em Concreto Armado do Estudo de Caso

3.3.1 Ensaio de Esclerometria nos Pilares

O ensaio de esclerometria foi realizado com 9 impactos por área de ensaio. Foi calculada a média aritmética dos 9 valores individuais dos índices esclerométricos correspondentes a uma única área de ensaio. Foi desprezado todo índice esclerométrico individual que estava afastado em mais de 10% do valor médio obtido e foi calculada uma nova média aritmética. O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais. Nenhum dos índices esclerométricos individuais deve diferir em mais do que 10% da média final. Os pilares P7, P9 e P11, tiveram mais de 4 índices esclerométricos afastados em mais de 10% do valor médio obtido assim o ensaio esclerométricos desses pilares foram abandonados.

3.3.2 Profundidade de Carbonatação dos Pilares

Ensaios de profundidade de carbonatação com aspersão de fenolftaleína foram realizados nos pilares do galpão do estudo de caso e comprovaram a despassivação das armações dos pilares pré-moldados. A aspersão de fenolftaleína foi realizada em regiões recém-fraturadas no pé de todos os 14 pilares. Devido à necessidade de aplicar o indicador em uma área recém-fraturada o ensaio de profundidade de carbonatação é considerado um ensaio semi destrutivo.

Em todos os pilares os ensaios mostraram carbonatação (região incolor) alcançando as armaduras. No ensaio de profundidade de carbonatação a coloração vermelho carmim só foi encontrada nas regiões mais internas dos pilares após as armaduras. Assim a frente de carbonatação já ultrapassou as armaduras. A Figura 1 mostra as vistas dos ataques da frente de carbonatação nas ferragens do pilar quatro.



Figura 1 – Vista do ataque da frente de carbonatação na ferragem do pilar P4.

Nos pontos onde foram realizados os ensaios de profundidade de carbonatação foram medidos os cobrimentos nominais das armaduras, que apresentaram medidas em torno de 2,5 cm. A espessura do cobrimento nominal está diretamente relacionada com facilidade e com o tempo que a frente de carbonatação alcança a armadura.

3.3.3 Potenciais de Corrosão dos Pilares

Para uma melhor avaliação da corrosão das armaduras dos pilares foram feitos ensaios de potenciais de corrosão em sete dos catorze pilares existentes. Como resultados do ensaio foram gerados os gráficos do potencial de corrosão dos pilares P1, P4, P7, P8, P10, P12 e P14

A Figura 2 mostra o gráfico dos potenciais de corrosão do pilar P4. No pilar P4 existem valores de potenciais de corrosão que variam de -350 mV até -1000 mV, ou seja, com 90% de probabilidade de corrosão do pé do pilar até 45 cm de altura. Ainda no pilar P4 existem valores de potenciais de corrosão que variam de -250 mV a -350 mV, ou seja, com probabilidade de corrosão incerta de 45 cm de altura até 100 cm de altura.

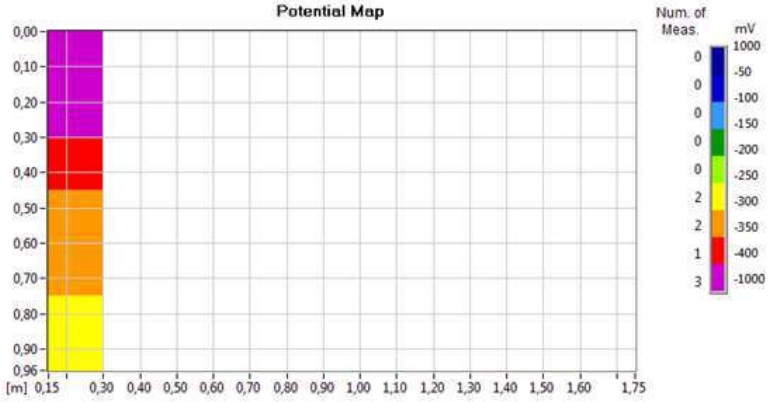


Figura 2 – Gráfico dos potenciais de corrosão do pilar P4.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Segundo [2] os pilares pré-moldados do galpão por estarem inclusos na classe de agressividade ambiental III, meio ambiente marinho, devem possuir resistência à compressão (Fck) maior ou igual a 30 Mpa. No ensaio de esclerometria realizado nos pilares todos os valores da resistência à compressão (Fck) estimados foram inferiores ao estipulado pela norma, ou seja, menor que 30 Mpa. Os pilares de P1 ao P6 apresentaram valores de resistência à compressão (Fck) muito baixos, menores que 15 Mpa. A norma [2] estipula que o valor mínimo da resistência à compressão na situação mais branda, ou seja, com a menor agressividade e o menor risco de deterioração, é de 20 Mpa. O ensaio esclerométrico indicou 6 pilares, do P1 ao P6, com resistência a compressão bem menores que os 20 Mpa estabelecido como resistência mínima do concreto em norma.

Considerando que os valores da resistência à compressão (Fck) encontrados tenham sido da argamassa de revestimento e não do concreto dos pilares, isto trás algumas considerações. Se a argamassa de revestimento tem resistência à compressão (Fck) bem menores que a do elemento, no caso os pilares, ela não pode ser considerada como um reforço estrutural. Para se executar um reforço o material a ser adicionado, incorporado, ao elemento deve ter resistência no mínimo igual ao material existente. Se o material de reforço tiver resistência à compressão muito inferior a resistência à compressão do elemento recuperado, consequentemente o material de reforço terá modo de elasticidade muito inferior do concreto do pilar existente, assim ambos os materiais trabalharão, ou seja, deformarão deferentemente podendo até ocorrer a expulsão do material de reforço do corpo do pilar. Se a argamassa de revestimento tem baixos valores de resistência à compressão (Fck) consequentemente possui elevada porosidade e alta permeabilidade, assim não tem função como barreira protetora dos agentes agressivos. A argamassa de revestimento dos pilares por ser um material poroso funciona como uma bucha (esponja) acumulando umidade em volta do pilar.

Recomenda-se que a argamassa de revestimento, que apresentou fissuras de retração, seja retirada dos pilares pré-moldados devido aos motivos supramencionados. Após a retirada deve ser realizado um novo ensaio de esclerometria

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

com o intuito de verificar a resistência à compressão dos pilares. Aumentar a precisão, aproximando-se mais perto possível da realidade, é importante para uma melhor especificação do correto material de reforço.

Após a remoção da argamassa de revestimento em todas as áreas que apresentarem armaduras expostas, concreto fissurado e desplacamento de concreto devem ser realizados reparos localizados. Além dessas, com o auxílio de um martelo, deve-se localizar as regiões que apresentarem som cavo, para uma posterior abertura e exame da armadura e do concreto.

Os ensaios de profundidade de carbonatação mostraram que a frente de carbonatação atingiu ar armaduras de todos os 14 pilares do galpão e comprovaram a despassivação das armaduras dos pilares. A baixa qualidade do concreto de cobrimento, comprovada pela sua baixa resistência a compressão, e a pequena espessura do cobrimento nominal, ambos os fatores inferiores ao exigido nas normas vigentes, facilitaram a entrada dos agentes agressivos responsáveis pela despassivação das armaduras.

O ensaio de profundidade de carbonatação indicou a existência de concreto carbonatado em todos os pilares, com a frente de carbonatação atingindo grandes profundidades alcançando as armaduras. Portanto o ensaio de profundidade de carbonatação com indicadores de pH justificaram a utilização do fator de minoração para corrigir os índices esclerométricos médios.

Para a reabilitação dos pilares pré-moldados deve-se retirar todo o cobrimento nominal e 2 cm de espessura após a armadura com o intuito de remover todo o concreto carbonatado e que a armadura seja toda envolvida pela argamassa ou microconcreto de reconstituição da seção da peça. Como foi comprovada a despassivação das armaduras não se recomenda a pintura das barras, pois é importante que as barras fiquem em contato com o material de reparo a base de cimento, que possui alcalinidade elevada.

Apesar da comprovação da despassivação das armaduras, pelo ensaio de profundidade de carbonatação, o fenômeno de corrosão não foi iniciado nos pilares P7, P8 e P12. Os referidos pilares apresentaram pequena probabilidade de corrosão por possuírem valores de potenciais maiores que -200 mV no ensaio de potenciais de corrosão, tomando-se como referencia o eletrodo de cobre/sulfato de cobre. Esses pilares apresentaram as maiores resistências à compressão (Fck) estimadas no ensaio de esclerometria: 25 Mpa para o pilar P8, 29 Mpa para o pilar P12 e o pilar P7 teve sua resistência desprezada pelo alto índice de desvio da média. A elevada qualidade do concreto de cobrimento dificulta a entrada dos agentes que favorecem o fenômeno da corrosão como a umidade e o oxigênio.

O ensaio de potenciais de corrosão identificou a existência de corrosão no pilares P1 e P4 devido aos valores de potenciais menores que -350 mv, tomando-se como referencia o eletrodo de cobre/sulfato de cobre. Os valores de potenciais mais negativos foram encontrados na região próxima ao pé do pilar até 50 cm de altura para o pilar P1 e até 100 cm de altura para o pilar P4. Esses pilares apresentaram as menores resistências à compressão (Fck) estimadas no ensaio de esclerometria: 11 Mpa para ambos os pilares. A baixa qualidade do concreto de cobrimento facilitou a entrada de agentes agressivos que favoreceram o fenômeno de corrosão. Nos pilares P1 e P4 devem ser adicionadas novas armaduras nos locais onde a perda de seção por corrosão for superior a 10%. Os reparos dos pilares P1 e P4 nas regiões onde a incidência de corrosão foi detectada devem ser realizados imediatamente.

Para os pilares P10 e P14 o ensaio de potenciais de corrosão indicou probabilidade de corrosão incerta, mais assim como nos pilares P1 e P4 os pilares P10 e P14 tiveram valores de potenciais mais negativos na região próxima ao pé do pilar. Esses pilares apresentaram valores de resistência à compressão (Fck), estimados no ensaio de esclerometria, intermediários comparados aos valores dos outros pilares. O pilar P10 obteve 21,5 Mpa de resistência à compressão e o pilar P14 obteve 22 Mpa de resistência à compressão.

No ensaio dos potenciais de corrosão, boa parte dos pilares pré-moldados (pilares 1, 4, 10 e 14) apresentaram os menores valores dos potenciais nas regiões do pé do pilar.Como os pilares do galpão do estudo de caso são pré-moldados provavelmente não devem ter existido problemas com a altura de lançamento e provavelmente não devem existir segregações do concreto, com maior concentração de agregados e menor concentração de pasta na base do pilar, devido à concretagem ter sido realizada com a peça deitada. O adensamento do concreto na base dos pilares pode ser dificultado porque é nessa região onde a densidade de armaduras é mais elevada, já que é neste local que se faz o traspasse das armaduras. Porém o principal fator que explica a existência dos menores valores de potenciais nas regiões do pé do pilar é a permanecia de umidade nessa região. Pensando em um pilar exposto ao ambiente, é fácil imaginar que, por gravidade, a água tende a se acumular por mais tempo na base dos pilares.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Devido ao estado de deterioração em que se encontram as estruturas dos pilares pré-moldados do galpão do estudo de caso recomenda-se a realização de reparos localizados nas regiões inferiores dos pilares (pé do pilar), até uma altura de 120 cm para o pilar P4 e até uma altura de 70 cm para os demais pilares.

Os reparos nas regiões onde a incidência de corrosão tenha sido detectada devem ser realizados imediatamente, tendo como destaque as regiões inferiores dos pilares. A realização dos reparos localizados deve ser feita de forma consciente, pois quando estes reparos não são realizados com as técnicas e os materiais adequados, funcionam de forma contrária ao esperado, ou seja, ao invés de prolongarem a vida útil da estrutura, podem aumentar a velocidade de corrosão, levando ao colapso prematuro da estrutura. Na Tabela 2 é possivel observar o resumo dos ensaios realizados nos pilares

Tabela 2 – Resumo dos Ensaios de Escleriometria, Profundidade de Carbonatação e Potenciais de Corrosão

Pilar	Esclerometria (Mpa)	Profundidade de Carbonatação	Pontenciais de corrosao
P1	11,0	Presença de concreto carbonatado	Existência de corrosão
P2	12,0	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P3	14,0	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P4	11,0	Presença de concreto carbonatado	Existência de corrosão
P5	10,5	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P6	11,8	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P7	-	Presença de concreto carbonatado	Corrosão não iniciada
P8	25,0	Presença de concreto carbonatado	Corrosão não iniciada
P9	14,0	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P10	21,5	Presença de concreto carbonatado	Junto com os pilares ,1, 4 e 14, apresentaram os menores valores dos potenciais nas regiões do pé do pilar
P11	11,0	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P12	29,0	Presença de concreto carbonatado	Corrosão não iniciada
P13	26,0	Presença de concreto carbonatado	Ensaio não realizado
P14	22,0	Presença de concreto carbonatado	Menores valores dos potenciais nas regiões do pé do pilar

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura de concreto armado do galpão do estudo de caso de acordo com a norma vigente está inclusa em um meio ambiente marinho que é um ambiente de agressividade forte e onde existe grande risco de deterioração da estrutura. Situação comum na maioria das capitais brasileiras que possuem grandes centros urbanos e se localizam no litoral.

O ensaio de esclerometria, realizado com o esclerômetro de reflexão, mostrou ser bastante prático e rápido, além de possuir um baixo custo de execução. Uma das principais vantagens desse ensaio é justamente por ser considerado um ensaio não destrutivo. Além de não interferir na integridade da peça de concreto, o ensaio de esclerometria fornece rapidamente a resistência à compressão da peça ensaiada com a correlação do índice esclerométrico médio efetivo, que é facilmente calculado.

Existe um questionamento da precisão da correlação do índice esclerométrico com a resistência a compressão do concreto. Na própria norma [4] existe, no anexo C, uma lista de fatores que influenciam no resultado do ensaio. Um dos fatores é o tipo de cimento, que segundo a norma possui influência significativa na obtenção do índice esclerométrico. Por isso são vários os fatores que podem divergir, como o tipo de cimento, das condições utilizadas para a confecção do gráfico impresso no aparelho, que possui a correlação do índice esclerométrico médio com a resistência a compressão, das condições existentes na realização do ensaio ‘in loco’.

O ensaio de esclerometria realizado nos 14 pilares do galpão do estudo de caso mostrou que a resistência à compressão dos pilares é menor que o mínimo exigido nas normas vigentes. Quanto menor a resistência à compressão do concreto maior a porosidade e a permeabilidade, facilitando a entrada de agentes agressivos como CO2, oxigênio e os cloretos até as armaduras, assim diminuindo a vida útil da edificação.

Foi diagnosticado que a argamassa de revestimento, que apresentou fissuras de retração, aplicada nos pilares pré-moldados não foram executadas seguindo recomendações técnicas para o correto reparo dos referidos elementos de concreto. A argamassa de revestimento utilizada além de não garanti uma adequada proteção aos pilares, comprometi a inspeção detalhada por esconder e dificultar o acesso do componente vistoriado. A argamassa encontrada ‘in loco’ que revesti os pilares deve ser completamente retirada para que os procedimentos corretos de recuperação sejam realizados.

As medidas dos cobrimentos nominais retiradas ‘in loco’ dos pilares pré-moldados são inferiores as mínimas medidas exigidas nas normas vigentes. A pequena espessura do cobrimento nominal e baixa qualidade do concreto de cobrimento são os principais motivos pela frente de carbonatação, detectada no ensaio de profundidade de carbonatação com indicadores de pH, ter atingido as armaduras de todos os pilares. Outro fator que pode ser destacado para o favorecimento da carbonatação em níveis mais profundos do concreto é o meio ambiente agressivo com altas concetrações de dióxido de carbono (CO2). O ensaio de profundidade de carbonatação comprovou a despassivação das armaduras de todos os 14 pilares pré-moldados.

O ensaio de potenciais de corrosão e o ensaio de esclerometria mostraram que quanto menor eram os valores da resistência à compressão (Fck) menor eram os valores dos potenciais, ou seja, mais negativos, tomando como referência o eletrodo de cobre/sulfato de cobre. Os resultados mostraram a existência de uma relação da qualidade do concreto de cobrimento com a probabilidade de corrosão das armaduras. Assim quanto maior a qualidade do concreto de cobrimento menor a probabilidade da existência do fenômeno de corrosão.

No ensaio de potenciais de corrosão foram encontrados valores mais eletronegativos, ou seja, os menores valores de potenciais nas regiões da base (pé) da maioria dos pilares. Devido aos pilares do galpão serem pré-moldados, o principal fator que explica os valores mais eletronegativos serem encontrados na região do pé dos pilares é provavelmente a permanência de umidade nessa região excluindo a altura de lançamento do concreto e a dificuldade de adensamento devido a grande densidade de armadura.

O ensaio de potenciais de corrosão indicou a existência de corrosão em dois dos sete pilares ensaiados, os pilares P1 e P4. Os reparos nas regiões onde a incidência de corrosão tenha sido detectada devem ser realizados imediatamente, tendo como destaques as regiões inferiores dos pilares. Apesar do ensaio de profundidade de carbonatação ter mostrado a despassivação das armaduras de todos os pilares, o ensaio de potencias de corrosão indicou três pilares (P7, P8 e P12) onde o fenômeno de corrosão não havia se iniciado. A despassivação das armaduras mostrou ser apenas um dos vários fatores que contribuem com o fenômeno de corrosão, assim não sendo preponderante para o inicio desse fenômeno.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

O método de avaliação do potencial de corrosão se mostrou um importante meio de detectar mudanças no estado do aço, ajudando a perceber quando a armadura muda do estado passivo para o estado de corrosão ativa e vice-versa, reafirmando este método como uma ferramenta útil nos serviços de inspeção e avaliação da durabilidade de estruturas de concreto armado.

A inexistência de normas para os ensaios de profundidade de carbonatação e de potenciais de corrosão dificultam a disseminação desses métodos de avaliação do estado de conservação dos elementos de concreto. Além de disseminar os ensaios, as normas são importantes para padronizar os ensaios, definir procedimentos, estabelecer limites e entre outros fatores que evitem erros e garantam a qualidade dos resultados.

6. REFERÊNCIAS

[1] CASCUDO, Oswaldo; Carasek, Helena. Durabilidade do concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. 1. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2014. 606 p.
[2] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 / 2014: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
[3] RIBEIRO, Daniel Véras (Coord.). Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, c2014. 246 p.
[4] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7584 / 2012: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012.
[5] HELENE, Paulo; MEDEIROS M. H. F.; BALBINOT G. B. Inspeção em prédios no Rio de Janeiro: corrosão em pilares. Concreto e construções. Revista IBRACON Ed. 57, pág. 58 - 66, Março de 2010.
[6] MEHTA, Povindas Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2014. 751 p.
[7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 876 (1992).“Standard test method for halh cell potential of uncoated reinforcing steel in concrete”. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.