Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: MÉTODOS DE PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO

D. L. SILVA
Mestranda em Eng.º Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: dione_luiza@hotmail.com

J. M. M. FONSECA
Eng.ª Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: mccartney.juliana@gmail.com

D. G. C. SILVA
Mestranda em Eng.º Civil
POLI/UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: deborahgrasielly@yahoo.com.br

E. C. B. MONTEIRO
Profª. Eng.ª Civil
UNICAP/POLI-UPE
Pernambuco; Brasil
e-mail: eliana@poli.br

RESUMO

Um dos principais fatores que comprometem a vida útil das estruturas de concreto armado é a corrosão, essa manifestação patológica ocorre, sobretudo, quando não são devidamente consideradas, durante o processo construtivo, questões como a relação água/cimento, cobrimento adequado das armaduras e obedecida a cura adequada do concreto, que devem ser balizados em função do ambiente pelo qual a estrutura será submetida. Essa manifestação patológica é considerada um dos principais problemas na construção civil, visto que, sua ocorrência pode levar a estrutura ao colapso. Algumas empresas do ramo da construção civil já dispõem de produtos capazes de minimizar a ocorrência de corrosão, são os chamados inibidores de corrosão. O objetivo desse artigo é aprofundar os conhecimentos sobre a corrosão de armaduras a fim de contribuir para minimização dessa manifestação patológica nas estruturas de concreto armado. A metodologia adotada no trabalho conta com uma revisão bibliográfica sobre corrosão de armaduras, comentando sobre os mecanismos e os fatores que a influenciam e evidenciando os métodos de prevenção e controle, como também, detalhar-se-á alguns casos de ocorrência dessa manifestação patológica na Região Metropolitana do Recife. Este trabalho contribui para um conhecimento mais abrangente do tema a fim de oferecer maior segurança e durabilidade às estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: corrosão de armaduras, prevenção, recuperação.

ABSTRACT

One of the main factors that compromise the life of reinforced concrete structures is corrosion, this pathological manifestation occurs, especially when they are not properly considered during the construction process, issues such as water / cement ratio, suitable coverings of armor and obeyed adequate curing of the concrete, which must be marked according to the environment in which the structure will be subjected. This pathological manifestation is considered one of the major problems in construction, since its occurrence can take the structure to collapse. Some companies in the construction industry already have products that can minimize the occurrence of corrosion, are called corrosion inhibitors. The aim of this paper is to deepen the knowledge of corrosion of reinforcement in order to contribute to minimizing this pathological manifestation in reinforced concrete structures. The methodology used in the work has a review on corrosion of reinforcement, commenting on the mechanisms and factors that influence it and showing the methods of prevention and control, as well, will detail up-some occurrence of cases of this pathological manifestation in Metropolitan region of Recife. This work contributes to a broader understanding of the issue in order to provide greater security and durability to reinforced concrete structures.

Keywords: corrosion of reinforcement , prevention, recovery.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material estrutural milenar. Sua utilização é de cerca de 9000 a 7000 a.C.,. Já no no século XIX, o concreto passou a ser utilizado como concreto armado, que foi um material revolucionário para a tecnologia moderna da construção civil da época. O concreto armado se configurou como um material revolucionário devido a possibilidade de ajustar características e propriedades, além de produzir formas e geometrias estruturais diversas, permitindo a concepção de concretos e estruturas conforme as necessidades do projeto. Dessa forma, foi possível obter tanto formulação de concretos simples, quanto formulação de concretos de altíssimo desempenho, de alta resistência e durabilidade [1].

A corrosão de armaduras consite na deterioração mais comum detectada em concreto armado. Este tipo de manifestação patológica pode ser associada a fatores mecânicos, físicos, biológicos e químicos [1]. Os mecanimos de deterioração das armaduras são os principais fatores que comprometem a vida útil das estruturas [2].

Foi realizado um estudo em Recife que visava analisar as manifestações patológicas em peças de concreto armado localizadas no calçadão da orla marítima de Boa Viagem, com uma distância média de 7 metros do mar, constatando uma disposição média de cloretos de 586,27 mg/m².dia os autores concluíram que, em grande parte das peças estruturais que foram inspecionadas se detectaram níveis de deterioração bastante elevados, os elementos estruturais danificados estavam praticamente no fim de sua vida útil total. Os autores também verificaram um baixo índice de carbonatação nas peças estudadas, constatando ataque de íons de cloreto o que explica a deterioração avançada das peças estruturais [3]. Em um estudo realizado na cidade do Recife, constatou-se que a deposição média de cloretos nas distâncias em relação ao mar eram de 7 m, 100 m, 160 m, 230 m e 320 m [4].

Face ao exposto, o presente trabalho consiste numa apresentação sucinta dos principais fatores que desencadeam a corrosao de armaduras, os tipos de corrosão, os métodos de prevenção e recuperação, e os casos de ocorrência dessa manifestação patológica na Região metropolitana do Recife, visando contribuir para o meio técnico do setor, no sentido de ampliar o conhecimento relacionado ao tema proposto.

2. CORROSÃO DE ARMADURAS

2.1 Definição

Sabe-se que grande parte dos metais encontrados na natureza é composta de óxidos, pois esta forma representa um estado estável a estes elementos, salvo os raros metais nobres. Com isso, a corrosão nada mais representa que a tendência natural do elemento voltar a sua fase mais estável, geralmente, sob a forma de óxidos de ferro.

A corrosão consiste numa interatuação destrutiva ou que resulte na inutilização do material para o adequado uso, seja por reação química ou eletroquímica. Onde no metal é convertido para um estado não-metálico, implicando em perdas das respectivas qualidades essenciais, a citar resistência mecânica, elasticidade e ductilidade [5].

O processo de corrosão do aço no concreto dá-se em uma fase inicial, onde os agentes agressivos transformam as condições do concreto que envolvem o aço, despassivando a armadura, originando uma célula de corrosão, responsável pela propagação da corrosão [6].

Como mecanismo, a formação de uma célula eletroquímica ou célula de corrosão depende da existência de quatro componentes: um ânodo, onde ocorre a reação de oxidação ou dissolução, um cátodo, onde ocorre a reação de redução,(essas duas ocorrem devido à diferença de potencial elétrico nas superfícies das armaduras) um condutor metálico (cumpre este papel o próprio aço da armadura), onde ocorre a condução de corrente elétrica (fluxo de elétrons), um eletrólito onde a corrente é um fluxo de íons no meio aquoso [7].

Na superfície do aço no processo corrosivo surgem ânodos oriundos da despassivação do aço, favorecendo a dissolução do ferro, liberando elétrons para os cátodos. Na Figura 1 é indicada a formação da célula corrosiva e na Tabela 1 estão as possíveis reações nos processos corrosivos.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

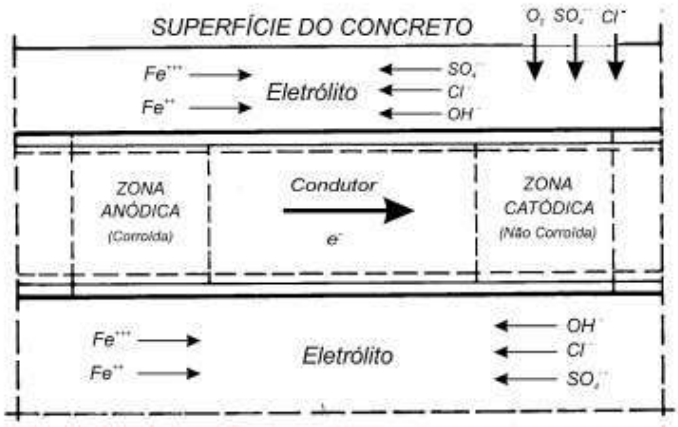


Figura 1: Célula de corrosão [8]

Tabela 1- Reações corrosão [8]

Região	Reação provável	Características do produto formado
Zona anódica	$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^-$	--------
Zona catódica	$2H_2O + O_2 + 2e^- \rightarrow 4OH^-$	--------
	$2Fe^{2+} + 4OH^- \rightarrow 2Fe(OH)_2$	Hidróxido ferroso, fracamente solúvel, de cor marrom
Superfície da	$2Fe^{2+} + 4OH^- \rightarrow 2FeO.H_2O$	Óxido ferroso hidratado, expansivo, de cor marrom
Barra ou eletrólito	$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$	Hidróxido férrico, expansivo, avermelhado
	$3Fe + 8OH^- \rightarrow Fe_3O_4 + 8e^- + 4H_2O$	Óxido de característica mista - férrico e ferroso
	$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe_2O_3.H_2$	Óxido férrico hidratado, expansivo

Como resultado da corrosão, há uma redução da secção da armadura, perda da aderência entre o aço e o concreto, manchas superficiais, oriundas dos produtos da reação ricos em óxidos de ferro, os produtos da reação ocupando mais volume que o original aço da armadura, causando grandes tensões internas e formando crostas no entorno da barra, levando à fissuras no concreto, destacamento do cobrimento, podendo culminar no colapso da estrutura.

2.2 Fatores que influenciam a corrosão de armaduras

2.2.1 Carbonatação do concreto

A carbonatação ocorre quando uma estrutura está exposta a altos níveis de concentração de dióxido de carbono (CO_2), que penetra nos poros do concreto reagindo com a umidade presente dando origem a um composto denominado ácido carbônico (H_2CO_3). Esse, por sua vez, reage com alguns componentes da pasta de cimento resultando em carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que consome o álcalis da pasta e reduz o pH do concreto, formando duas regiões de ph: básica e neutra, que avança para o interior da estrutura, favorecendo a despassivação do aço, tornando-o vulnerável à corrosão. São fatores que influenciam na carbonatação do concreto [9]:

- Condições ambientais: altas concentrações de CO_2 aumentam a velocidade de carbonatação,, principalmente para concretos de elevadas relações água/cimento.
- Umidade relativa (UR) do ambiente: os poros do concreto parcialmente saturados com água na superfície apresentam condições favoráveis à carbonatação, sendo as maiores velocidades reativas quando a UR está entre 60% e 80%.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

- Traço do concreto: altas relações a/c: Quanto maior a relação de água/ cimento, maiores serão a permeabilidade e porosidade do concreto, aumentando as chances de difusão de CO_2 e água entre os poros.

- Cura do concreto: processo fundamental para reduzir o efeito da carbonatação, pois o tempo de cura é uma grandeza diretamente proporcional a hidratação da pasta de cimento nas idades iniciais, reduzindo a porosidade e permeabilidade.

2.2.2 Penetração de íons cloreto

Os íons cloretos, oriundos do meio ambiente (atmosferas poluídas e/ou marítimas), de água e agregados contaminados, além de alguns aditivos de concreto favorecem a despassivação da armadura, pois a entrada de agentes agressivos, tais como o íons cloreto, podem levar ao início de um processo de corrosão pela ruptura do filme de óxido do concreto. Os íons cloreto podem ser encontrados no concreto nas seguintes formas [9]:

- Combinados Quimicamente: Combinados com o C3A e o C4AF presentes no cimento, originando o cloroaluminato de cálcio hidratado (componente abundante) e cloroferrrato de cálcio hidratado. Na forma agrupada o íons cloreto não promove a despassivação. Logo, quanto maior o teor de C3A do cimento, melhor a fixação dos íons cloreto, menor a possibilidade de despassivação da armadura.

- Fisicamente Adsorvidos na zona superficial do concreto

- Livres nas soluções porosas do concreto: Nesta forma, os íons penetram através do cobrimento do concreto sem interagir com os compostos de hidratação da pasta. Consiste na forma mais prejudicial, pois quando atinge a armadura, promovesua despassivação.

3. MÉTODOS DE PREVENÇÃO E CONTROLE DA CORROSÃO DE ARMADURAS

Considerando que a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um dos principais fatores de redução de sua vida útil devido à interação do concreto com o meio ambiente, com a intenção de aumentar sua vida útil, muitas vezes, além de precauções adequadas com relação à qualidade do concreto são utilizados alguns aditivos que têm a função de impedir ou reduzir a corrosão das armaduras.
Para reduzir ou inibir a corrosão das armaduras, além da atenção na concepção e execução dos projetos, existem métodos específicos para inibição desta manifestação patológica, dentre as quais pode-se enumerar [10]:

- métodos eletroquímicos (proteção catódica e anódica);

- isolamento da armadura do eletrólito pelo uso de revestimentos orgânicos inertes (tintas) ou de revestimentos com metais mais nobres (galvanização);

- inibição da reação catódica e/ou da reação anódica por meio de agentes (chamados inibidores) que reagem com os produtos da corrosão e formam camadas impermeáveis nas superfícies dos eletrodos.

O controle da corrosão nas armaduras, de forma geral, pode ser feito através de mecanismos como: proteção por barreira, repassivação, proteção catódica ou por inibição [9]. O mecanismo de proteção por barreira tem por objetivo o controle do acesso de oxigênio e umidade até a armadura. Um exemplo claro desta proteção é a aplicação de uma pintura de base epóxi sobre a armadura ou de outro material ou sistema de baixa permeabilidade. A repassivação visa o restabelecimento do elevado pH ao redor da armadura. A proteção catódica está associa-se à polarização da armadura por corrente impressa ou pelo uso de metal mais eletronegativo que o aço, de forma que o potencial da armadura fique na zona de imunidade. Finalmente, o mecanismo de proteção por inibição é conseguido pelo uso de inibidores de corrosão anódicos, catódicos ou mistos, como, por exemplo, os nitritos de cálcio ou sódio e as aminas [6].

4. OCORRÊNCIA DE CORROSÃO DE ARMADURAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

4.1 Ponte Paulo Guerra, Recife/PE

4.1.1 Descrição da ponte

Inaugurada no ano de 1979, a ponte Paulo Guerra fica sobre a bacia do rio Pina, em região próxima ao mar, portanto sujeita à variação das marés. Liga os bairros da Cabanga e do Pina e dá acesso à Zona Sul da cidade, onde se encontra o bairro mais populoso do Recife - Boa viagem.

Segundo o relatório técnico da EMLURB – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana, pertencente à Prefeitura da Cidade do Recife, em 1999 a ponte Paulo Guerra possui comprimento total de 453m, é feita em concreto protendido, sua superestrutura é formada por dois caixões unicelulares unidos pela laje superior, a laje inferior tem altura variável e a superior, constante.

4.1.2 Danos provenientes de corrosão na armadura

Nos trechos sobre os apoios extremos da superestrutura, que são atingidos pela água quando ocorrem as marés máximas, observou-se elevado grau de deterioração do concreto e corrosão da armadura[11]. A Figura 2 apresenta a ausência da camada de recobrimento da armadura, estando a mesma em alto estado de corrosão, diretamente em contato com os aparelhos de apoio.



Figura 2: Armadura exposta apresentando corrosão [11]

4.1.3 Solução adotada

O quadro corrosivo apresentado na ponte é devido à ausência de manutenção preventiva adequada o que permitiu o livre desenvolvimento do processo corrosivo das armaduras nos apoios, assim como a não substituição periódica dos aparelhos de apoio que acarretou esforços excessivos no concreto dessa região, não previstos no projeto original. Para solução desta patologia recomenda-se uma intervenção corretiva, definitiva e segura com inspeção periódica a cada quatro anos.

4.2 Edifício residencial no Recife

4.2.1 Descrição do edifício

A edificação residencial em estudo foi construída em 1986 e nunca passou por um processo de manutenção. Localizada na área da semi orla da região metropolitana do Recife. Foi possível constatar que a maioria das manifestações patológicas teve seu agravamento devido à falta de manutenção, causada por exposição natural e pela agressividade do meio que está inserido.

4.2.2 Danos provenientes de corrosão na armadura

Observou-se que por se tratar de edificações em região litorânea onde há maior presença de íons de cloreto, observou-se uma grande presença de corrosão na edificação [12]. Foram detectados alguns pontos de corrosão de armadura na edificação, conforme ilustra Figura 3, ocasionando deterioração do concreto. Como causa dessa manifestação

patológica pode-se citar a falta de cobrimento mínimo que é estabelecido pela NBR 6118 [13], facilitando infiltrações e uma posterior corrosão das armaduras.



Figura 3: Ausência de recobrimento em armadura exposta apresentando corrosão [12]

4.2.3 Solução adotada

Segundo ensaios realizados para análise do estado de corrosão, o ensaio de profundidade de carbonatação demonstrou que as estruturas da Edificações estavam afetadas e apresentando íons de cloreto.As manifestações estudadas constataram que o agravamento das manifestações patológicas se faz devido à ausência de manutenção. Para solução da patologia recomenda-se intervenção corretiva e inspeção periódica [12].

4.3 Estruturas de concreto em zona litorânea no Recife

4.3.1 Descrição da orla

Em estudo realizado na orla localizada na Avenida Boa Viagem, próximo ao clube da Aeronáutica, Bairro de Boa Viagem, Recife-PE foi analisada e foram examinadas algumas peças de concreto armado localizadas no calçadão da orla marítima, haja vista que essas estruturas sofreram as mais elevadas agressões dos cloretos advindos das névoas salinas. A Figura 4 apresenta onde foi realizado o estudo [3].

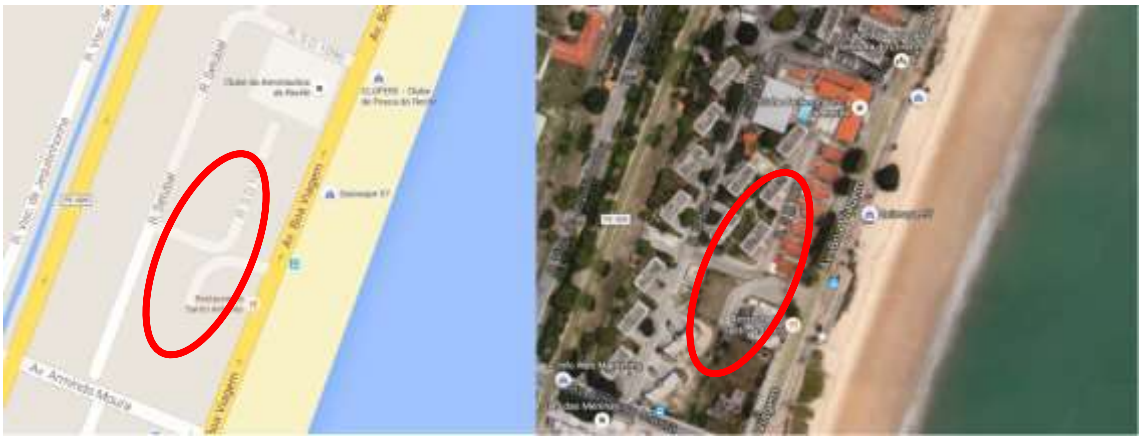


Figura 4: Região em que se encontravam as peças de concreto ensaiadas [3]

4.3.2 Danos provenientes de corrosão na armadura

Na análise foram observadas a existência de corrosão nas seguintes peças : bancos; poste de iluminação; chuveirão; prancha para exercícios. O estado de conservação das peças é apresentado nas Figuras 5, 6, 7 e 8.



Figura 5: Bancos [3]



Figura 6: Poste e Barras para exercício[3]



Figura 7: Chuveirão [3]



Figura 8: Prancha para exercícios [3]

Segundo o estudo realizado, em inspeção visual, foram observados, dentre outras patologias, manchas de corrosão sendo identificados aspectos como manchas avermelhadas na região da armadura e sendo estes danos ocasionados supostamente pelo deficiente cobrimento, armaduras expostas e a já aparente perda elevada de seção.

4.3.3 Solução adotada

No que diz respeito à carbonatação das peças, verificou-se na maioria dos grupos de elementos estruturais analisados, um índice de alcalinidade satisfatória, remetendo para o ataque dos íons cloreto, a causa principal da deterioração avançada das peças, tendo em vista os percentuais elevados de cloreto, em relação à massa de cimento, quando comparado com o limiar prescrito na literatura (0,4%) e, ou, média do que rege as normas pertinente [3]. Portanto, tomando como base este estudo pode-se perceber a importância de um projeto estrutural que contemple a durabilidade e manutenção, pois essas se apresentam como as mais eficazes e menos onerosas ações para subsistência saudável de elementos estruturais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão de armaduras é uma manifestação patológica, que embora os principais fatores que a influenciam sejam a presença de CO_2, que reduz o pH e consequentemente despassiva a armadura, e a presença dos íons de cloreto, que diminui a resistividade do concreto e ataca a camada passivadora, pode ser originada por outros fatores, dentre eles, a utilização de materiais inadequados e a má execução das estruturas.

É uma manifestação patológica bastante frequente e responsável pelo maior número de casos de deterioração nas estruturas de concreto armado.

As estruturas afetadas com essa manifestação patológica ficam bastantes comprometidas tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista estrutural.

Deve-se atentar para os fatores que aceleram o processo de corrosão desde a etapa de projeto, garantindo uma espessura adequada do cobrimento do concreto, bem como, atentar para a agressividade do meio onde a estrutura estará inserida. Por exemplo, regiões litorâneas são bastante agressivas devido a presença de íons de cloretos na atmosfera do local.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

O custo-benefício da obra é também um fator importante a se considerar, pois quando se procura reduzir os custos da execução da obra acabam construindo estruturas com baixa qualidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. *Revista de corrosão e proteção: ciência e tecnologia em corrosão*. Ano 12 nº55. Fevereiro, 2015.

[2] SALOMÃO, M. C. F., SILVA, T. J. Ensaio acelerado de carbonatação do concreto. In: Seminário de iniciação científica, 12. 2008. Uberlândia. Anais. UFU, 2008.

[3] MOTA, J. M. F. *et al.,* "Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife – PE". X Congreso Latinoamericano de Patología Y XII Congreso de Calidad en la Construcción. CONPAT 2009. Valparaíso – Chile.

[4] PONTES, R. B. *et al.,* "Levantamento da concentração de cloretos em zona costeira do Recife-PE". IX Congresso Latinoamericano de Patologia. Quito – Equador. 2007.

[5] CASCUDO, O. *O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas*. 2 ed. Goiana, 1997.

[6] FIGUEIREDO, E. P. e MEIRA, G. - BOLETIM TÉCNICO 06 – *Corrosão das armaduras das estruturas de concreto*, ALCONPAT, 2013. Disponível em: http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6-Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf Acesso em: 09 jan. 2015.

[7] FARIAS, R. F. S., "Corrosão das Armaduras do Concreto: Mecanismos e Controle". Dissertação (Mestado), Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 1992.

[8] LIMA, M. G., "Inibidores de corrosão - Avaliação da eficiência frente à corrosão provocada por cloretos". Dissertação (Doutorado), Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 1996.

[9] FIGUEIREDO, E. J. P. "Avaliação do desempenho de revestimentos para a proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas - Contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado". São Paulo: USP, 1994, 437 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

[10] FREIRE, K. R. R. "Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto". Curitiba, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2005.

[11] GOMES, E. A. O. "Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali-Agregado"– a Experiência do Recife. Recife, Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

[12] FONSECA, T. *et al.,* Manifestações Patológicas em Edifícios Residenciais na Região Metropolitana do Recife. IV Congresso Internacional na "Recuperação, Manutenção e Restauração e Edifícios". Rio de Janeiro – Brasil. (2015).

[13] .ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2014.