



A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-244-9

DOI 10.22533/at.ed.449190404

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.0072

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O conhecimento científico é extremamente importante na vida do ser humano e da sociedade, pois possibilita entender como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Mediante o conhecimento científico é possível provar muitas coisas, já que busca a veracidade através da comprovação.

Sendo produzido pela investigação científica através de seus procedimentos, surge da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária e para fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas. Por meio dessa investigação, obtêm-se enunciados, leis, teorias que explicam a ocorrência de fatos e fenômenos associados a um determinado problema, sendo possível assim encontrar soluções ou, até mesmo, construir novas leis e teorias.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de suma importância para a evolução da sociedade e do ser humano em si, pois através dele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando o avanço na construção do saber em uma área do conhecimento.

Na engenharia evidencia-se a relevância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e disseminação deste conhecimento.

Neste sentido, este E-book, composto por dois volumes, possibilita o acesso as mais recentes pesquisas desenvolvidas na área de Engenharia, demonstrando a importância do conhecimento científico para a transformação social e tecnológica da sociedade.

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE ARCABOUÇOS DE PLGA E PLDLA COM POROS INTERCONECTADOS DIRECIONADOS PARA ENSAIOS DE CULTURA DE CÉLULAS ÓSSEAS	
Joelen Osmari Silva Anna Maria Gouvea Melero Juliana Almeida Domingues Adriana Motta de Menezes Moema de Alencar Hausen Daniel Komatsu Vagner Roberto Botaro Eliana Aparecida de Rezende Duek	
DOI 10.22533/at.ed.4491904041	
CAPÍTULO 2	12
ENSAIOS IN VITRO E IN VIVO DE <i>SCAFFOLDS</i> DE PLGA INCORPORADOS COM ÓLEO-RESINA DO GÊNERO COPAIFERA SSP. PARA REPARAÇÃO DE TECIDOS	
Ana Luiza Garcia Massaguer Millás João Vinícios Wirbitzki da Silveira Rodrigo Barbosa de Souza Maria Beatriz Puzzi Edison Bittencourt Ivan Hong Jun Koh	
DOI 10.22533/at.ed.4491904042	
CAPÍTULO 3	26
MEMBRANAS MICROFIBROSAS DE POLI (L-ÁCIDO LÁCTICO) (PLLA) PARA REPARO ÓSSEO	
Bárbara Etruri Ciocca	
DOI 10.22533/at.ed.4491904043	
CAPÍTULO 4	32
ESTUDO DO POTENCIAL MICROBIOLÓGICO DE NANOCRISTAIS HÍBRIDOS DE ZnO DOPADOS COM AgO	
Ellen Quirino de Sousa Lucas do Nascimento Tavares Caio César Dias Resende Lorraine Braga Ferreira Carlos José Soares Anielle Christine Almeida Silva Luís Ricardo Goulart Filho Letícia de Souza Castro Filice	
DOI 10.22533/at.ed.4491904044	
CAPÍTULO 5	42
PROCESSAMENTO DE LIGAS Mg-Zn-Ca PARA USO EM IMPLANTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ	
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho José Adilson Castro Alexandre Antunes Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.4491904045	

CAPÍTULO 6 54

“VIABILIDADE DO USO DE CASCAS DE OVOS NA SÍNTESE DA HIDROXIAPATITA UTILIZANDO O MÉTODO SOL-GEL

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904046

CAPÍTULO 7 63

ESTUDO DA VELOCIDADE DE ADIÇÃO DOS REAGENTES NA SÍNTESE DE HIDROXIAPATITA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCAS DE OVOS DE GALINHA COMO PRECURSORES

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904047

CAPÍTULO 8 70

MEDIDAS DE MICRODUREZA VICKERS EM HIDROXIAPATITA SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO A CASCA DO OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904048

CAPÍTULO 9 86

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE CORROSÃO DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS ÀS AÇÕES DE CLORETOS E DE CARBONATAÇÃO

Wanessa Souza de Lima
Marcelo Lima Silva
Fuad Carlos Zarzar Júnior
Romilde Almeida de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.4491904049

CAPÍTULO 10 105

ANÁLISE DA CORROSÃO DE BARRAS NO CONCRETO ARMADO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR MEIO DE MODELO COMPUTACIONAL

Wanessa Souza de Lima
Romilde Almeida de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.44919040410

CAPÍTULO 11	124
ARGAMASSAS DE REJUNTE EXPOSTAS AOS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM	
Valéria Costa de Oliveira Emílio Gabriel Freire dos Santos Rafael Alves de Oliveira Júlia Silva Maia	
DOI 10.22533/at.ed.44919040411	
CAPÍTULO 12	136
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) QUANDO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS	
Klayne Kattiley dos Santos Silva Amâncio da Cruz Filgueira Filho Emerson Fernandes da Silva Alves Fernando Artur Nogueira Silva	
DOI 10.22533/at.ed.44919040413	
CAPÍTULO 13	151
COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS	
Amanda Gabriela Dias Maranhão Fuad Carlos Zarzar Júnior Romilde Almeida de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040414	
CAPÍTULO 14	162
DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS	
Artur Buarque Luna Silva Fuad Carlos Zarzar Júnior Romilde Almeida de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040415	
CAPÍTULO 15	170
SUGARCANE BAGASSE ASH INTO SILICON PRODUCTS	
Angel Fidel Vilche Pena Agda Eunice de Souza Silvio Rainho Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040416	
CAPÍTULO 16	177
ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO NA INTERAÇÃO DE LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA PERDA DE MASSA EM MATERIAIS METÁLICOS	
David Domingos Soares da Silva Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior Alysson Domingos Silvestre	
DOI 10.22533/at.ed.44919040417	
CAPÍTULO 17	183
ANÁLISE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL OFF-GRID NA ZONA URBANA DE FORTALEZA-CE	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Cauli Guray Melo Freitas Fellipe Souto Soares Douglas Aurélio Carvalho Costa	

Obed Leite Vieira

DOI 10.22533/at.ed.44919040418

CAPÍTULO 18 197

RECREIAÇÃO DO EXPERIMENTO DE HERTZ

Camila Alice Silva Santos

Cláudia Timóteo de Oliveira Rufino

Denikson Figueiredo de Vasconcelos

Ericveiber Lima Dias Clemente

Gustavo Henrique Mathias de Lima

DOI 10.22533/at.ed.44919040419

CAPÍTULO 19 205

UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM PARA CONTROLE DO NÍVEL DE PLANICIDADE DE UM ITEM SOLDADO UTILIZADO EM UM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

Alex Sandro Fausto dos Santos

Eduardo Carlos Mota

DOI 10.22533/at.ed.44919040420

SOBRE A ORGANIZADORA 219

ANÁLISE DA CORROSÃO DE BARRAS NO CONCRETO ARMADO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR MEIO DE MODELO COMPUTACIONAL

Wanessa Souza de Lima

UNIP/INBEC, Pós Graduação em Engenharia
Diagnóstica;
Recife – PE.

Romilde Almeida de Oliveira

Universidade Católica de Pernambuco, Centro de
Ciências e Tecnologia;
Recife – PE.

RESUMO: O número de incertezas relacionadas a fatores como propriedades dos materiais, mecanismos de deterioração, carga ambiental, entre outros, torna a previsão de vida útil de estruturas de concreto um problema complexo. Diante de todos os problemas de degradação que tem surgido, onde a corrosão de armaduras aparece como um dos mais significantes, afetando diretamente a segurança, capacidade de serviço e vida útil das estruturas. Uma das consequências deste cenário se mostra no desenvolvimento e atualização de normas técnicas, como a norma de desempenho NBR 15575 e a norma de projeto de estruturas de concreto NBR 6118, objetivando definir exigências técnicas e responsabilidades em relação à durabilidade das estruturas de concreto. Este trabalho tem como objetivo analisar as medidas de potencial de corrosão obtidas na inspeção de dois pilares da Torre de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militares de

Pernambuco e estimar a vida útil de estruturas em concreto armado similares, em conformidade com as normas NBR 6118 e NBR 15575, por meio do modelo computacional de previsão Life-365. Para isso foram inspecionados dois pilares da citada Torre, onde se verificou que os potenciais de corrosão nos dois elementos investigados encontram-se majoritariamente na condição de concreto seco carbonatado, apresentando contaminação por cloretos na base do pilar P2, segundo os critérios adotados neste estudo. Através da previsão de vida útil fornecida pelo Life-365 foi possível estabelecer uma relação entre a utilização combinada de concreto com maior f_{ck} e adições minerais com o retardamento da propagação de cloretos em estruturas de concreto.

PALAVRAS-CHAVE: corrosão; durabilidade; vida útil; concreto.

ABSTRACT: The number of uncertainties related to factors such as material properties, deterioration mechanisms, environmental load, among others, makes the prediction of the lifespan of concrete structures a complex problem. Faced with all the problems of degradation that has arisen, where the corrosion of steel bars appears as one of the most significant, directly affecting the safety, serviceability and lifespan of the structures. One of the consequences of this scenario is the

development and updating of technical standards, such as performance standard NBR 15575 and the concrete structure design standard NBR 6118, aiming to define technical requirements and responsibilities regarding the durability of concrete structures. This work aims to analyze the corrosion potential measurements obtained in the inspection of two pillars of the Salvage Tower of the Military Fire Brigade of Pernambuco and to estimate the lifespan of similar reinforced concrete structures in accordance with the standards NBR 6118 and NBR 15575, using the predictive model Life-365. In order to do this, two pillars of the tower were inspected, where it was verified that the potential of corrosion in the two investigated elements are mainly in the condition of carbonated dry concrete, presenting contamination by chlorides at the base of the P2 pillar, according to the criteria adopted in this study. Through the lifespan prediction provided by the Life-365 software it was possible to establish a relationship between the combined use of concrete with higher f_{ck} and mineral additions with delaying the propagation of chlorides in concrete structures.

KEYWORDS: corrosion; durability; lifespan; concrete.

1 | INTRODUÇÃO

O número de incertezas relacionadas a fatores como propriedades dos materiais, mecanismos de deterioração, carga ambiental, condições de uso, manutenção, operação, entre outros, torna a previsão de vida útil de estruturas de concreto um problema complexo, visto que, em decorrência dessas variáveis, não só as estruturas, como seus componentes e sistemas, deterioram-se a diferentes taxas.

Tal quadro faz com que ocorra um aumento na preocupação da comunidade técnico-científica no tocante à qualidade das novas estruturas e com a manutenção e segurança das existentes, diante de todos os problemas de degradação que tem surgido, dentre os quais a corrosão de armaduras é um dos mais significantes. Uma das consequências deste cenário se mostra no desenvolvimento e atualização de normas técnicas, como a norma de desempenho - NBR 15575-1:2013 e a norma de projeto de estruturas concreto – NBR 6118:2014, a fim de definir exigências técnicas e responsabilidades em relação a durabilidade das estruturas de concreto, principalmente em relação à primeira, que estabelece especificação quanto à vida útil de projeto (VUP) mínima que um elemento ou estrutura de concreto deve atingir.

Os problemas devido à corrosão de armadura nas estruturas de concreto afetam diretamente sua segurança, capacidade de serviço e, conseqüentemente, sua vida útil, sendo um dos mais comuns e frequentes relacionados à durabilidade. Merece, portanto acompanhamento periódico, visto que o processo corrosivo no concreto armado é “silencioso”, segundo Ribeiro et al (2013) seus sintomas só aparecem muito depois do processo ter iniciado e propagado, sendo sua identificação precoce muito difícil.

Tal acompanhamento pode ser feito através de extensa gama de técnicas

de avaliação/monitoramento associados a modelos de previsão de vida útil que descrevam satisfatoriamente o processo de degradação, com a finalidade de identificar a ocorrência e até avaliar a gravidade da patologia, possibilitando assim dados para a tomada da melhor decisão quanto à adoção de ações mitigadoras preventivas ou, em casos tardios, recuperação/reforço da estrutura afetada.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e a confiabilidade de técnicas que analisam a corrosão como um fenômeno eletroquímico, por meio da análise das medidas de potencial de corrosão obtidas na inspeção de dois pilares da Torre de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militares de Pernambuco, aplicadas em conjunto com softwares de predição de vida útil de estruturas em concreto, estimando a vida útil de estruturas em concreto armado similares, em conformidade com as normas NBR 6118 e NBR 15575, através do modelo computacional de previsão de vida útil Life-365.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Corrosão de armaduras

Ribeiro et al (2013) define corrosão como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, resultado de reações químicas ou eletroquímicas, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração. No caso do concreto armado, além da proteção física que o concreto oferece ao separar o aço do meio externo, seu ambiente altamente alcalino (pH por volta de 13, numa escala que vai até 14), devido ao $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente em sua composição, forma uma película protetora em volta da armadura, conhecida como passivação, que em condições satisfatórias previne a propagação do processo corrosivo no aço.

Para que a corrosão ocorra a presença de água e oxigênio no meio é obrigatória, ou seja, tal patologia se manifesta quando o concreto apresenta permeabilidade, permitindo assim a entrada da umidade (H_2O) e substâncias como gás carbônico (CO_2) e íons cloretos que reagem ao interagirem com os componentes do aço, diminuindo o pH do meio e ocasionando a despassivação da armadura, o que abre espaço para o desencadeamento do processo corrosivo, conforme Figura 1.

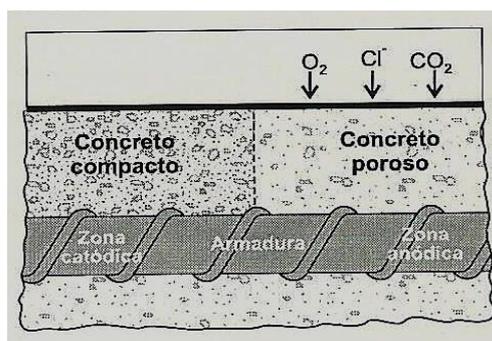


Figura 1: Efeitos do acesso de oxigênio ao concreto

Fonte: CASCUDO, 1999

A corrosão de armaduras em concreto é resultado de reações eletroquímicas, ou seja, ocorre obrigatoriamente em meio aquoso, que contém íons em sua composição, logo, os íons dos metais componente da armadura interagem com os da solução aquosa, passando a ocorrer um movimento entre o potencial do metal e da solução a fim de que se estabeleça o equilíbrio, formando o que se conhece por pilha eletroquímica, mostrada na Figura 2.

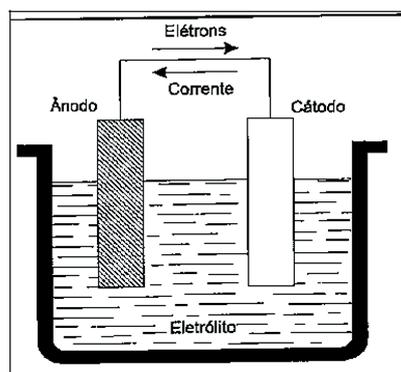


Figura 2 – Pilha eletroquímica

Fonte: CASCUDO, 1999

O concreto, se preparado e executado em não conformidade com o preconizado nos normativos vigentes, pode perder as propriedades que o caracteriza como uma barreira para a corrosão, permitindo que as armaduras estejam suscetíveis aos ataques de íons ou substâncias ácidas agressivas existentes na atmosfera, dentre eles os mais frequentes são os íons cloreto (Cl^-) e o dióxido de carbono (CO_2), sendo estes protagonistas dos dois mecanismos de propagação da corrosão que serão explorados mais adiante.

A corrosão de armaduras figura entre as principais patologias encontradas nas edificações atualmente, afetando diretamente a durabilidade do concreto, tendo como consequências principais a ocorrência fissuração e em casos mais avançados sua deterioração.

Para a ocorrência da corrosão das armaduras em concreto é necessária a presença de um eletrólito (a água desempenha esse papel), oxigênio, diferença de potencial (íons liberados pelo metal), além de agentes agressivos que somados aos três fatores obrigatórios supracitados acarretam na perda da passivação do aço, acelerando todo o processo. Por fim, os produtos comumente formados ao fim das reações são óxidos e hidróxidos de ferro.

2.1.1 Passivação do concreto

Passivação é a película protetora formada devido ao ambiente altamente alcalino do concreto. A alcalinidade do concreto tem origem nas reações de hidratação dos

silicatos de cálcio (C_2S e C_3S) componentes do cimento que formam como produto o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, com seu pH por volta de 12,6. Segundo Ribeiro et al (2013), no estado passivo a velocidade de corrosão do metal é muito baixa, estando a redução na velocidade na ordem de 10^4 a 10^6 vezes. A camada passiva do concreto é instável, suscetível a danos ou trincas e sensível às alterações no pH do meio (diminuição da alcalinidade), apresentado na Figura 3.

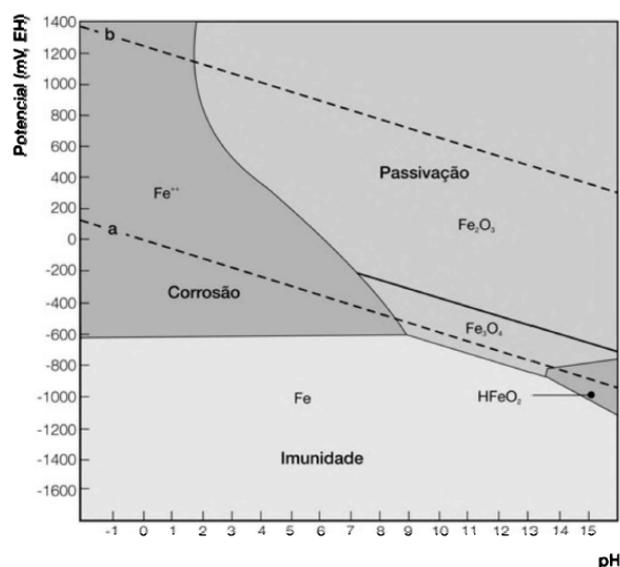


Figura 3 – Diagrama de Pourbaix, que relaciona pH e potencial para a previsão das condições em que ocorrem corrosão, imunidade ou possibilidade de passivação

Fonte: RIBEIRO et al, 2013

Quando o $Ca(OH)_2$ reage com o CO_2 atmosférico, um dos impactos dessa reação é a redução do pH do meio, afetando a estabilidade da camada passivadora. Logo, a proteção dessa película protetora contra danos mecânicos e a manutenção de sua estabilidade são cruciais na prevenção da ocorrência do processo corrosivo, sendo esta a função principal do recobrimento de concreto na estrutura no tocante à corrosão das armaduras.

2.1.2 Principais mecanismos de propagação da corrosão

2.1.2.1. Corrosão da armadura por cloretos

Ribeiro et al (2013) classificam a corrosão induzida por cloretos como a maior causa de deterioração e degradação em estruturas de concreto armado. Sua ocorrência se deve à reação dos íons cloretos, presentes na pasta de cimento, armadura, em regiões anódicas formando o ácido clorídrico (HCl), destruindo a camada passivadora da armadura e tornando a superfície do aço sujeita ao processo corrosivo, onde o próprio aço atua como anodo e a camada passivadora como catodo, acarretando na formação de pites, ver Figura 4. Tal processo só ocorre na presença de água e

oxigênio.

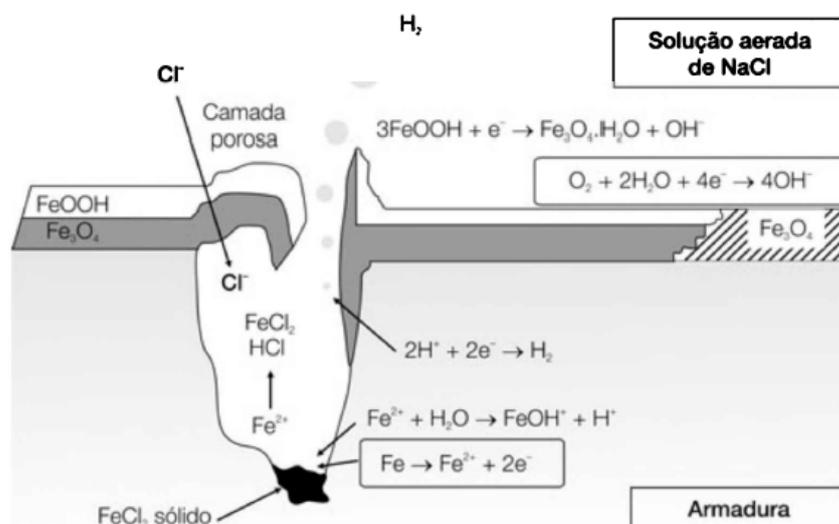


Figura 4 – Desenho esquemático da corrosão por pite decorrente da ação dos íons cloretos

Fonte: RIBEIRO et al, 2013

Para Neville e Brooks (2013) a presença de C_3A pode ser benéfica quanto à minimização dos riscos da ocorrência da corrosão por cloretos, visto que o C_3A reage com os cloretos formando o cloroaluminato de cálcio, conhecido por sal de Friedel ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), que por sua vez incorpora-se às fases sólidas do cimento hidratado. Logo, conclui-se que o uso de cimento resistente a sulfatos (com baixo teor de C_3A) aumenta o risco de corrosão. O uso de cimento com escória ou pozolanas também são vistos como benéficos, pois as adições restringem a mobilidade dos íons na pasta de cimento hidratado.

2.1.2.2. Corrosão da armadura por carbonatação

A carbonatação é uma das principais reações químicas que podem afetar a vida útil de uma estrutura em concreto armado, onde o gás carbônico (CO_2), presente na atmosfera, e os elementos componentes do cimento hidratado (hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$), na presença de umidade, reagem produzindo carbonato de cálcio (CaCO_3), resultando na redução do pH do concreto, geralmente maior que 12,5, para valores em torno de 8,5 (BAKKER, 1988, MEHTA e MONTEIRO, 2008). É um processo lento e que ocorre da superfície para o interior da estrutura e sua evolução depende de três fatores: permeabilidade do concreto, teor da umidade e de CO_2 no meio-ambiente.

A redução da alcalinidade da pasta de cimento afeta as condições de estabilidade química da película passivante da armadura, criando as condições favoráveis para o desencadeamento do processo corrosivo.

O desenvolvimento da carbonatação é favorecido na ocorrência de desconformidades como espessura de recobrimento insuficiente, elevada relação água/cimento, porosidade elevada e ciclos de umedecimento e secagem reduzidos,

uma das consequências dessas práticas é o aumento da velocidade de carbonatação.

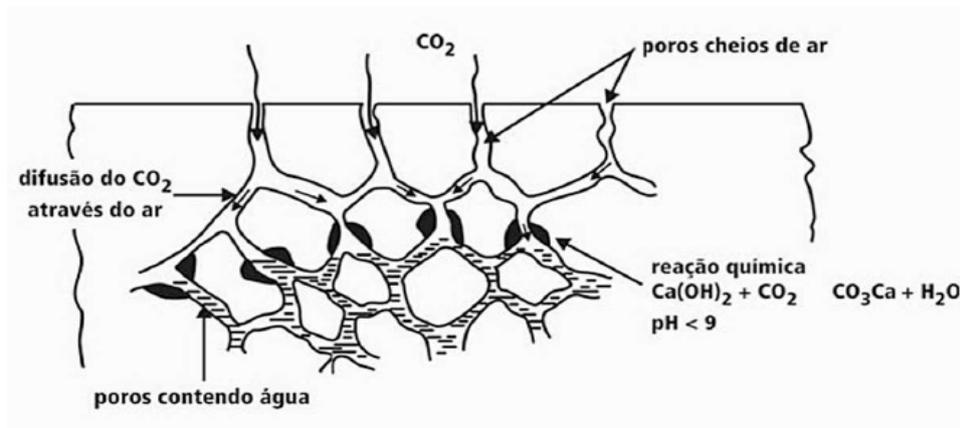


Figura 5 – Desenho esquemático da penetração do CO₂ e do processo de carbonatação

Fonte: FUSCO, 2008

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Medição dos potenciais de corrosão de meia célula

O método do potencial de corrosão de meia célula não é capaz de medir a evolução e a velocidade do processo corrosivo da armadura, tendo, portanto, como principal finalidade a indicação das probabilidades de ocorrência da corrosão e a consequente classificação do estado do concreto, resultando uma imagem característica do estado de corrosão da superfície do aço dentro do concreto. Essa técnica trabalha com a relação eletroquímica entre o aço e o concreto, o eletrodo de referência do sistema Canin+ é uma meia célula de cobre/sulfato (Cu/CuSO₄), utilizando uma vareta de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante de 10 MΩ. O eletrodo de referência, conectado por meio de um voltímetro de alta impedância ao reforço de aço, deve ser movimentado em uma grade, definida de acordo com a estrutura analisada, acima da superfície de concreto, conforme Figura 6.

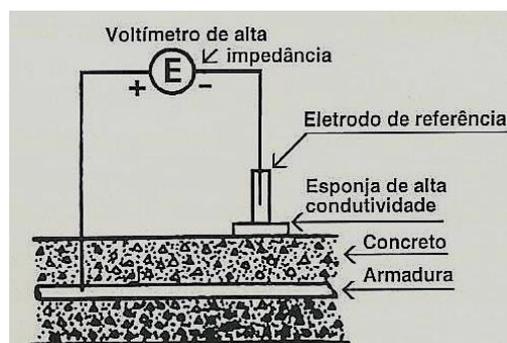


Figura 6: Representação esquemática do sistema de medição do potencial de corrosão de meia célula.

Fonte: CASCUDO, 1999

Os potenciais coletados através das medições realizadas desta vez serão avaliados através de critérios mais abrangentes do que os previstos na norma ASTM C-876/91, também conhecidos como critérios de Van Daveer e cuja aplicação imediata não é indicada para processos corrosivos deflagrados devido à ação da carbonatação. Nesse caso, a avaliação seguirá o proposto na recomendação europeia RILEM TC 154-EMC e o proposto por Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), que utiliza como base o Diagrama de Pourbaix para a determinação das faixas de probabilidade de corrosão, dispostos nas tabelas 1 e 2.

Concreto saturado de água sem O ₂	-0,9 ... -1,0 V
Concreto úmido contaminado com cloreto	-0,4 ... -0,6 V
Concreto úmido isento de cloreto	+0,1 ... -0,2 V
Concreto úmido carbonatado	+0,1 ... -0,4 V
Concreto seco carbonatado	+0,2 ... 0,0 V
Concreto seco não carbonatado	+0,2 ... 0,0 V

Tabela 1: Intervalos do potencial de meia célula do aço em concreto medidas em relação a um eletrodo de referência de Cu/CuSO₄

Fonte: RILEM TC 154-EMC, 2003.

Condição	Potencial (E _{corr}) (mV, Cu/CuSO ₄)	Observações	Risco de dano
Estado passivo	+200 a -200	Ausência de Cl ⁻ ; pH > 12,5; H ₂ O; (UR elevada)	Desprezível
Corrosão localizada	-200 a -600	Cl ⁻ ; O ₂ ; H ₂ O; (UR elevada)	Alto
Corrosão uniforme	+200 a -150	Carbonatado; O ₂ ; H ₂ O; (UR baixa)	Baixo
Corrosão uniforme	-150 a -600	Carbonatado; O ₂ ; H ₂ O; (UR elevada)	Moderado-alto
Corrosão uniforme	-400 a -600	Cl ⁻ elevado; H ₂ O ou carbonatado H ₂ O, (UR elevada)	Alto
Corrosão uniforme	< -600	Cl ⁻ elevado, H ₂ O elevado, sem O ₂	Desprezível

Tabela 2: Probabilidades de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial, das condições do concreto e do meio-ambiente

Fonte: Rincón *et al*, 1998 *apud* Bastos, 2005.

2.2.1.1. Planejamento e preparo da estrutura para a inspeção

Foram inspecionados dois pilares, denominados P1 e P2 (Figura 8-a), da Torre de Salvamento do CBMPE (Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco), localizada no Quartel Central, situado na Av. João de Barros nº. 399, Boa Vista, Recife / PE. Segundo a NBR 6118:2014, o ambiente onde está situada a estrutura analisada é

classificado como sendo de classe II – agressividade moderada. Uma estrutura em concreto armado, que, segundo informações coletadas no local, possui idade estimada de 40 anos de construída, fck de projeto de 15 MPa, tendo seu uso desvirtuado durante certo período como suporte de caixa d'água.

Visualmente foi possível detectar manifestações patológicas como pontos de ferragens expostas e oxidadas, infiltrações e fissuras verticais em seus elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), destacamento do revestimento externo, como se pode observar no material fotográfico exposto a seguir nas Figuras 7-a, 7-b, 7-c e 7-d, ressaltando-se que algumas dessas manifestações foram oriundas de fontes mecânicas (impactos de veículos na estrutura).

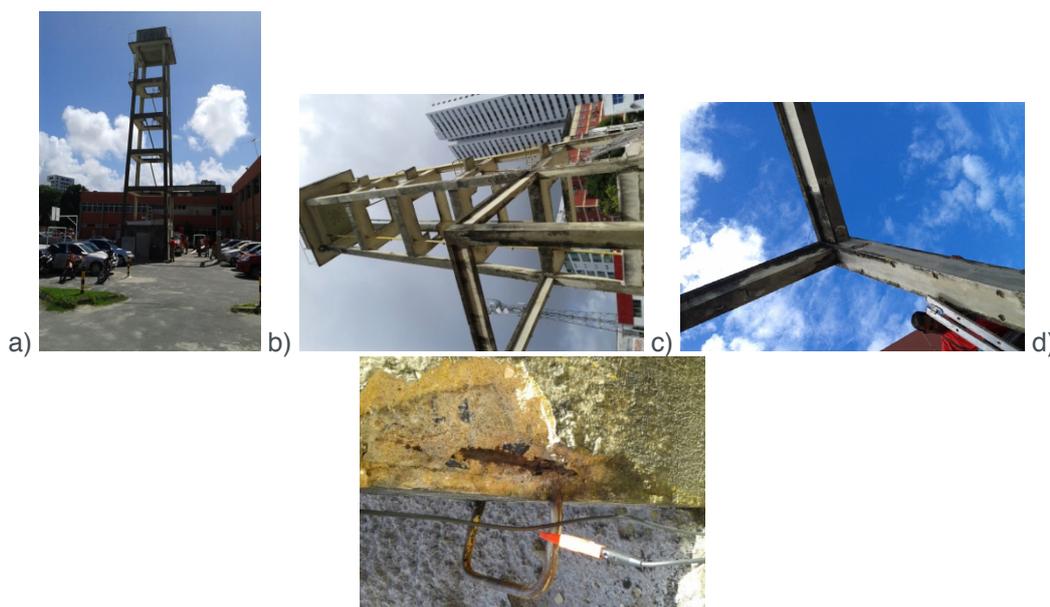


Figura 7: a e b) Vista geral da Torre de Salvamento do CBMPE; c e d) elementos da Torre de Salvamento do CBMPE apresentando destacamento do revestimento externo, pontos de ferragem exposta e oxidada.

Fonte: autoria própria

2.2.1.2. Execução das inspeções

Após a identificação dos pilares a serem inspecionados (denominados P1 e P2, conforme Figura 8-a), colocou-se a tampa do eletrodo, também composta por uma rolha de madeira, de molho em um recipiente com água, pois, para assegurar um contato de baixa resistividade a rolha deve estar saturada por água. Em seguida preparou-se uma solução de água destilada e sulfato de cobre saturado na proporção de 40 unidades de massa de CuSO_4 para 100 unidades de massa de H_2O (nessa aplicação 15g de CuSO_4 foram necessários para a solução), a qual, depois de pronta, foi inserida no recipiente do eletrodo de barra e fechado.

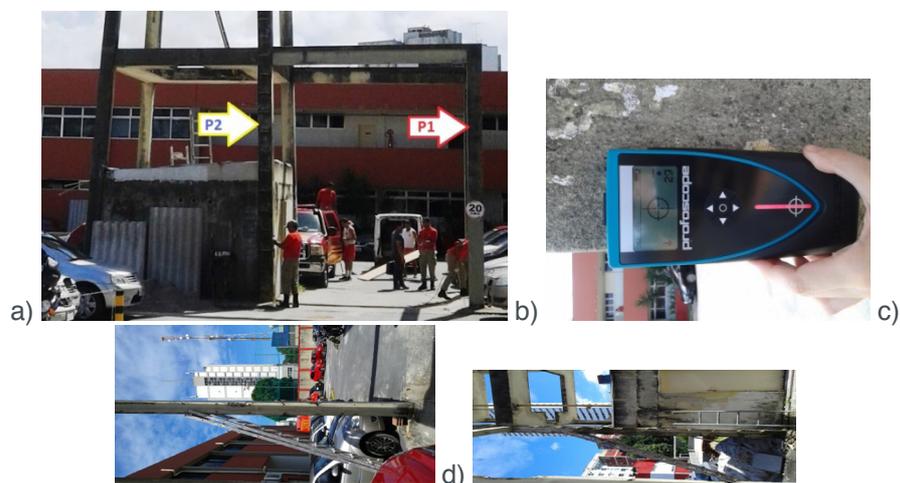


Figura 8: a) Identificação dos pilares inspecionados; b) localização das armaduras; c) preparação dos pilares para a execução do ensaio, com a remoção do revestimento externo nos pontos da grade pré-definida.

Fonte: autoria própria

Durante o tempo necessário para saturar a rolha e para o preparo da solução de sulfato de cobre, foram localizadas as posições das armaduras nas peças investigadas, medidas a espessura do concreto e as bitolas das armaduras longitudinais (principais) e transversais (estribos), com o auxílio do pacômetro “Profoscope”, e definidas as grades na superfície dos pilares, vide Figura 9 e Figuras 8-b, 8-c e 8-d, visando identificar, de forma mais precisa possível, a extensão da superfície a ser inspecionada. Para o caso em tela foi adotada a grade de 14x50 cm no pilar denominado P1 e 14x40 cm no pilar denominado P2.

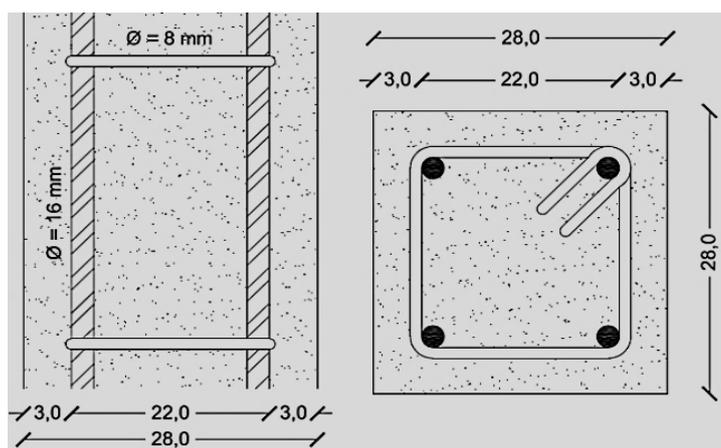


Figura 9: Representação esquemática das seções transversal e longitudinal dos pilares P1 e P2, medindo 28x28 cm de seção transversal, com recobrimento de 3,0 cm e as armaduras principais com bitola de 16 mm e estribos com bitola de 8 mm.

Fonte: autoria própria

Para os elementos estruturais inspecionados, foi feita uma verificação quanto à variação dos potenciais medidos e constatou-se a necessidade da remoção do revestimento externo em massa única dos pilares para a obtenção de maior precisão dos

valores coletados, tornando desnecessárias correções ou compensações posteriores, conforme instruções constantes do manual do equipamento utilizado (Sistema Canin+ da Proceq). Em seguida a superfície de testes foi pré-umedecida para aumentar a mobilidade dos íons na área, favorecendo o processo eletroquímico no sistema aço/concreto. Para efeito de comparação, foram executadas aspersões de nitrato de prata e fenolftaleína, de acordo com o preconizado nas normas internacionais pela UNI-7928 e RILEM CPC-18, respectivamente, para verificar a presença de íons cloreto e o estado de carbonatação do concreto dos pilares e enfim procederam-se as medições, conforme Figuras 10-a, 10-b, 10-c e 10-d.

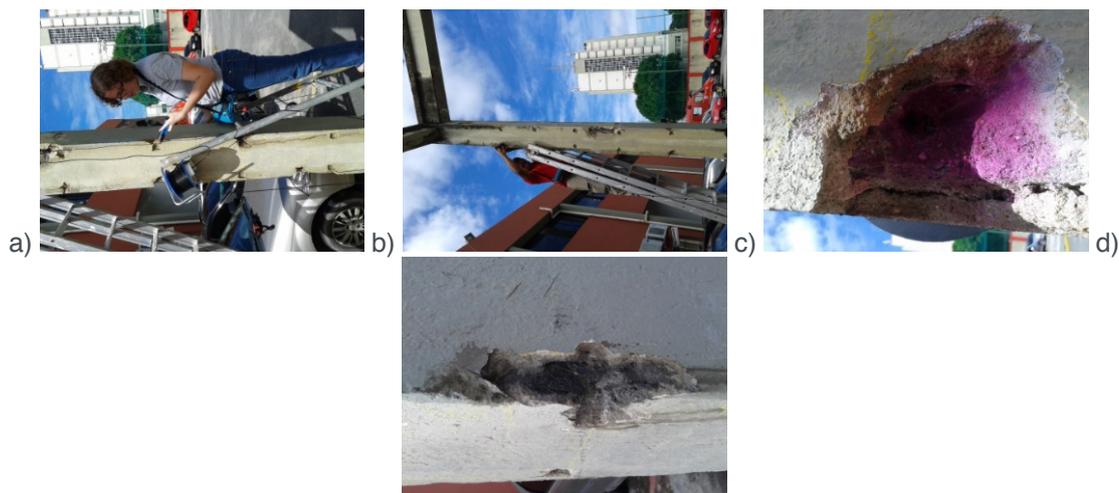


Figura 10: a e b) Execução das medições de potencial de corrosão; c) aspersão de fenolftaleína no elemento P1; d) aspersão de nitrato de prata no elemento P1.

Fonte: autoria própria

2.2.2 Estimativa da vida útil por meio do modelo computacional Life-365

De posse das informações coletadas *in loco* e dos potenciais de corrosão coletados, levando em consideração os parâmetros de referência constantes da norma NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento para definição e estimativas de classe de agressividade ambiental, relação água/cimento, composição ou traço do concreto, aliado ao recobrimento do concreto obtido por meio do pacômetro “Profoscope”, alimenta-se o programa computacional Life-365 com os dados de entrada necessários, dispostos na Figura 11.

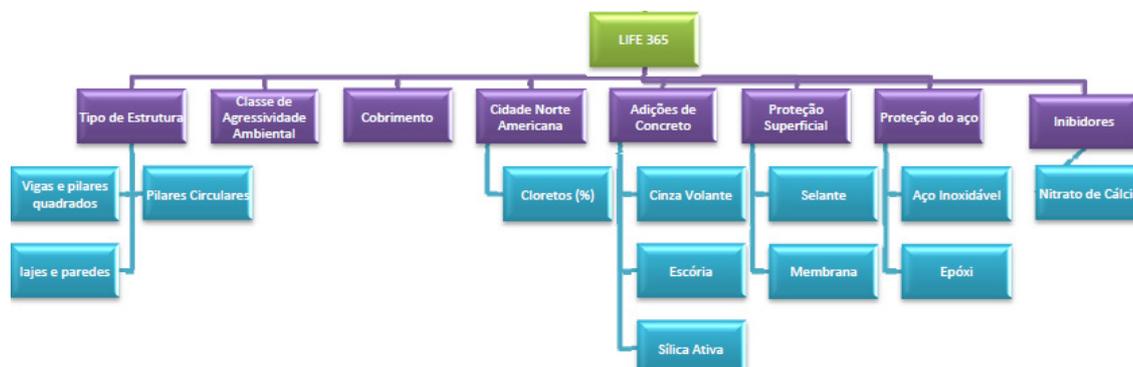


Figura 11: Dados de entrada do software de previsão de vida útil Life-365.

Fonte: Miranda, 2014

O Life-365 foi desenvolvido em 1999 por um consórcio de empresas norte americano, com o objetivo de estimar a vida útil do concreto armado, também permitindo a inserção de sistemas de proteção contra manifestações patológicas como a corrosão de armaduras. No caso de uma estrutura exposta aos seus principais mecanismos de propagação da corrosão, por exemplo, ação de cloretos, o programa computacional pode até resultar numa redução do custo do seu ciclo de vida.

Quanto ao dado de entrada cidade, deve-se atentar que o Life-365 foi desenvolvido levando em conta as características ambientais (temperaturas médias mensais e a condição de exposição aos cloretos) de cidades dos Estados Unidos, devendo-se, portanto, selecionar uma cidade norte americana com clima similar ao encontrado no local onde está situada a estrutura em análise aqui no Brasil ou inserir tais dados, quando da disponibilidade destas informações.

A fim de estimar a vida útil de uma peça similar, com as mesmas medidas e recobrimento (ver figura 9) à submetida aos ensaios de medição de potencial de corrosão, foram definidos seis casos de peças de concreto armado, expostos na tabela 3, considerando o disposto na NBR 6118:2014 quanto às correspondências entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto (com dosagens de concreto adotadas de C25 e C30), diferentes teores de adições minerais e sem o emprego de nenhum inibidor ou barreira protetora nas armaduras. O objetivo desta análise é investigar o tempo necessário para que a frente de despassivação por cloretos chegue à armadura e inicie a corrosão.

Alt name	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Caso 1 - C25 Controle (0% adições)	0.6				Black Steel
Caso 2 - C25 30% Escória, 5% Sílica	0.6	Slag (30%); Sílica Fume (5%);			Black Steel
Caso 3 - C25 70% Escória, 10% Sílica	0.6	Slag (70%); Sílica Fume (10%);			Black Steel
Caso 4 - C30 Controle (0% adições)	0.5				Black Steel
Caso 5 - C30 30% Escória, 5% Sílica	0.5	Slag (30%); Sílica Fume (10%);			Black Steel
Caso 6 - C30 70% Escória, 10% Sílica	0.5	Slag (70%); Sílica Fume (10%);			Black Steel

Tabela 3: Tabela-resumo contendo as dosagens utilizadas para cada caso pré-estabelecido, segundo os critérios da NBR 6118:2014.

Fonte: autoria própria, gerada pelo software Life-365

Como a temperatura ao longo do ano e a condição de exposição de cloretos não estavam disponíveis para as condições brasileiras, escolheu-se como localidade para este estudo a cidade de San Juan, no Porto Rico, por se tratar de uma cidade litorânea, cuja temperatura média se aproxima daquelas da região do litoral pernambucano (entre 25 °C e 28 °C), conforme exposto na Figura 12.

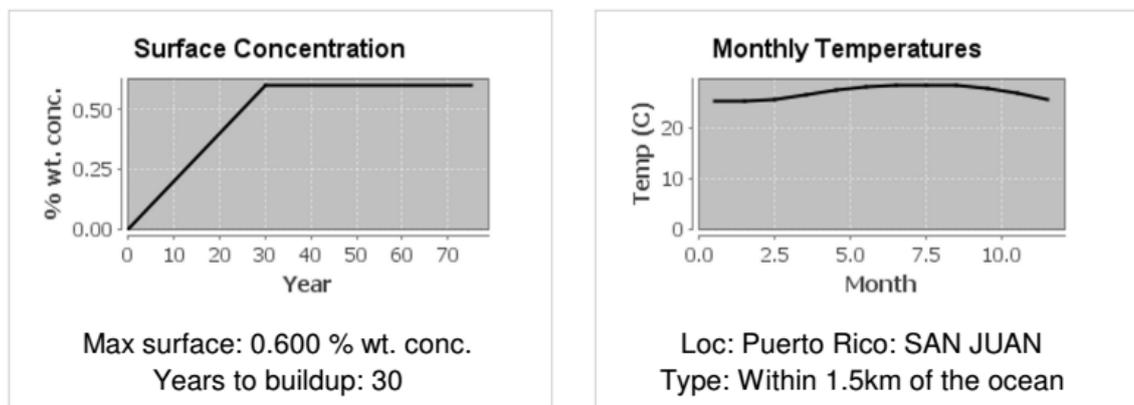


Figura 12: Condições ambientais adotadas no software Life-365 para estimação de vida útil.

Fonte: autoria própria, gerada pelo software Life-365

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de medição do potencial de corrosão

Os resultados obtidos nas medições de potencial para cada pilar se encontram expostos nos gráficos 1 e 4, onde também estão correlacionados com as probabilidades do desencadeamento do processo corrosivo determinadas pela RILEM TC 154-EMC, e com os critérios propostos por Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), que utiliza como base o Diagrama de Pourbaix.

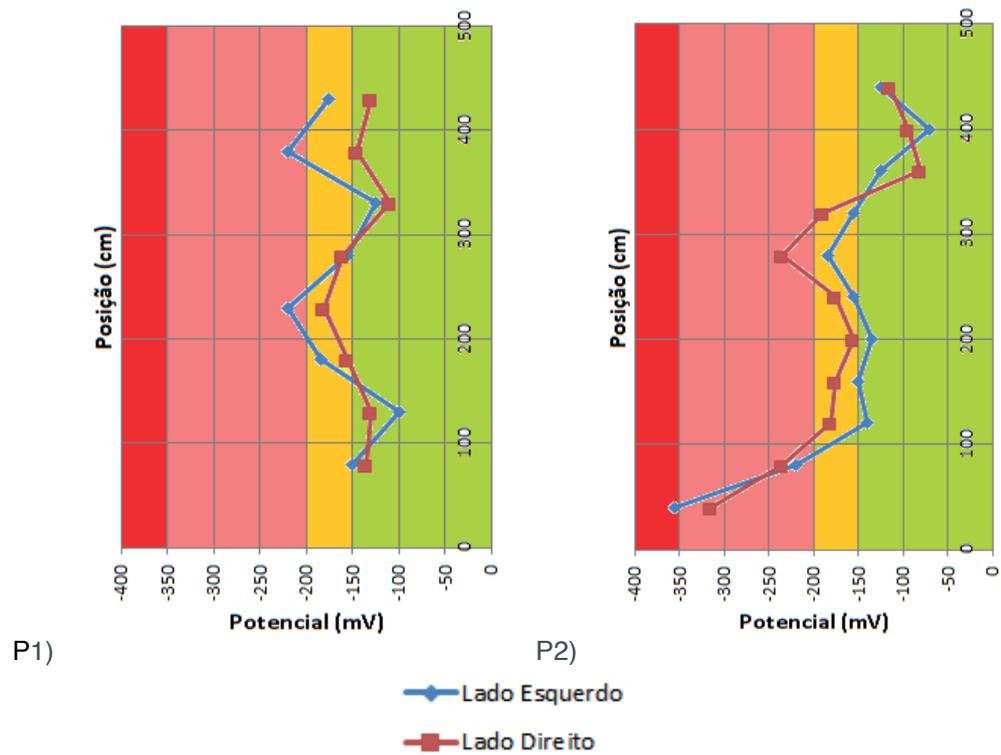


Gráfico 1: Correlação entre as medidas de potencial de corrosão referentes aos pilares P1 e P2 e os critérios de avaliação constantes no trabalho de Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005).

Fonte: autoria própria

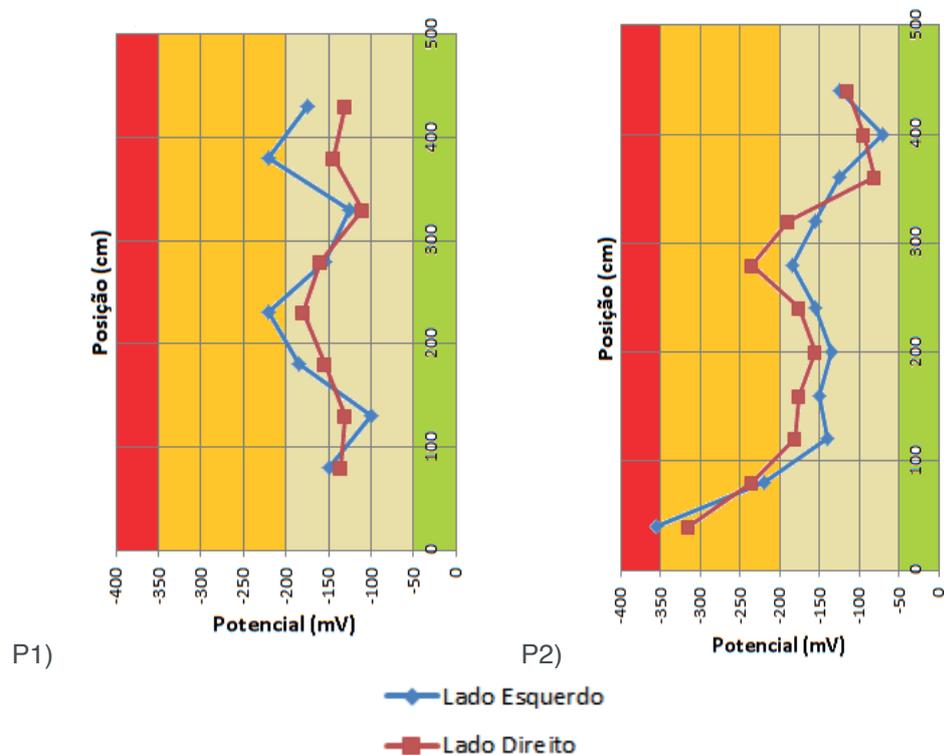


Gráfico 2: Correlação entre as medidas de potencial de corrosão referentes aos pilares P1 e P2 e os critérios de avaliação constantes na recomendação RILEM TC 154-EMC.

Fonte: autoria própria

Ressalta-se, antes de qualquer avaliação, que o potencial do eletrodo de cobre

apresenta valores mais positivos que o potencial do sistema aço/concreto, logo, o usual é que os valores obtidos nas inspeções sejam negativos independentemente do estado da armadura (MEDEIROS et al, 2010), tal comportamento foi observado nas medições realizadas para a elaboração deste relatório.

A partir dos gráficos 1 e 2, percebe-se que o elemento P1 apresentou valores de potenciais majoritariamente nas faixas de probabilidade baixa a moderada dos critérios de Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), onde a faixa vermelha representa a zona de alto risco de corrosão, faixa laranja representa a zona de risco moderado da ocorrência do processo corrosivo e a verde a zona de risco baixo ou desprezível.

Também deve ser mencionado que, corroborando com o ensaio de aspersão de nitrato de prata e fenolftaleína executados no pilar P1, onde se pode observar o baixo teor de cloretos – concreto apresentando coloração mais escura após a aspersão do nitrato de prata (foto 10-d) e a alcalinidade do concreto – coloração rósea após a aspersão da fenolftaleína (foto 10-c), os valores das medições de potencial de corrosão também se encontram em sua maioria na condição de concreto seco carbonatado (da base até a extremidade superior), segundo os critérios da recomendação RILEM TC 154-EMC, bem como pelos critérios de Rincón, onde a classificação majoritária é a de concreto carbonatado com umidade relativa elevada e ausência de cloretos.

Para o elemento P2 foi observada uma tendência levemente diferente, onde uma maior fatia de potenciais aparece nas zonas de risco moderado-alto (representado pela faixa rosa) e alto (representado pela faixa vermelha) em relação ao caso anterior do pilar P1, mesmo assim, os resultados ainda se encontram majoritariamente na zona de moderado a baixo risco (representadas pelas faixas amarela e verde) de ocorrência de corrosão. Quanto à avaliação da recomendação RILEM TC 154-EMC, a maior parte dos valores se encontra na condição de concreto seco carbonatado (entre a extremidade superior e a metade do pilar), apresentando também representação em menor escala de concreto úmido carbonatado (metade inferior do pilar) e na base do pilar foi detectada contaminação por cloretos, tal classificação condiz com o que estabelece os critérios de Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), onde registrou-se leituras de concreto contaminado por cloretos com umidade relativa elevada na base do pilar, concreto carbonatado com umidade relativa elevada na metade inferior do pilar e concreto carbonatado com umidade relativa baixa entre a extremidade superior e a metade do pilar.

3.2 Estimativa da vida útil por meio do modelo computacional Life-365

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da vida útil estimada pelo modelo de previsão de penetração de cloretos Life-365, onde se constata que a vida útil estimada pelo modelo aumenta conforme o aumento do teor de adições minerais, que agem no retardamento do início do processo corrosivo por cloretos, como observado no Gráfico 3. Ao mesmo tempo, o coeficiente de difusão de cloretos aos 28 dias (D28)

diminui conforme a diminuição da relação água/materiais cimentícios.

Alt name	D28	m	Ct	Init.	Prop.	Service life
Caso 1 - C25 Controle (0% adições)	2.40E-11 m ² /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	4.2 yrs	6 yrs	10.2 yrs
Caso 2 - C25 30% Escória, 5% Sílica	1.05E-11 m ² /m/sec	0.37	0.05 % wt. conc.	7.7 yrs	6 yrs	13.7 yrs
Caso 3 - C25 70% Escória, 10% Sílica	4.61E-12 m ² /m/sec	0.6	0.05 % wt. conc.	29.4 yrs	6 yrs	35.4 yrs
Caso 4 - C30 Controle (0% adições)	1.38E-11 m ² /m/sec	0.2	0.05 % wt. conc.	5.1 yrs	6 yrs	11.1 yrs
Caso 5 - C30 30% Escória, 5% Sílica	2.65E-12 m ² /m/sec	0.37	0.05 % wt. conc.	18.2 yrs	6 yrs	24.2 yrs
Caso 6 - C30 70% Escória, 10% Sílica	2.65E-12 m ² /m/sec	0.6	0.05 % wt. conc.	47.1 yrs	6 yrs	53.1 yrs

Tabela 3: Vida útil estimada por meio da aplicação do modelo Life 365 para os casos propostos

Fonte: autoria própria, gerada pelo software Life-365

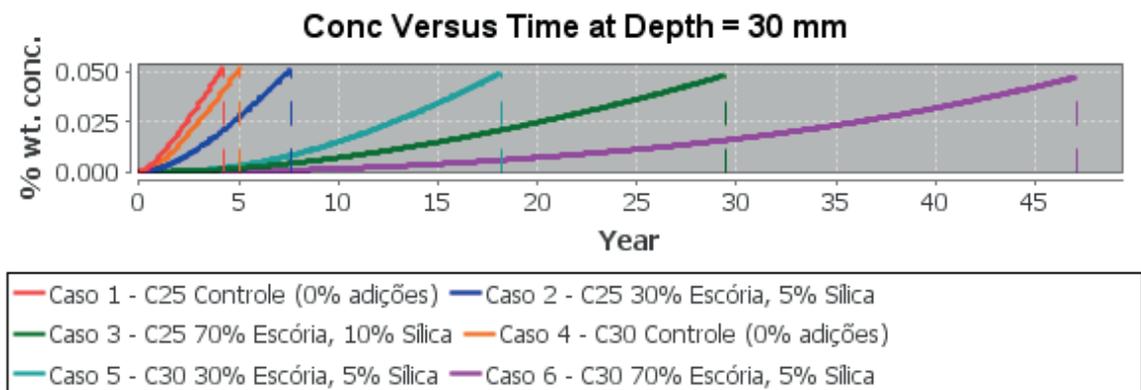


Gráfico 3: Concentração de cloretos profundidade 30 mm x Anos

Fonte: autoria própria, gerado pelo software Life-365

As dosagens de controle, tanto do concreto C25, quanto do concreto C30, apresentaram valores mais críticos, com menor vida útil, chegando pouco mais de 10 anos, mesmo com recobrimento utilizado ser compatível com a classe de exposição e apesar da NBR 6118/2014 não especificar um valor mínimo para vida útil de projeto de uma estrutura, o valor de 10 anos não é aceitável para a maioria das estruturas em concreto armado.

O uso de adições minerais, como escória e sílica ativa, retornou aumentos expressivos da vida útil das peças, com destaque maior para o caso 6, uma dosagem de concreto C30, com relação água/cimento de 0,50 e os valores máximos permitidos para o programa de teor de adições minerais (70% de escória e 10% de sílica), o único que atingiu vida útil maior que 50 anos (valor mínimo recomendado pela NBR 15755).

Salienta-se ainda que o coeficiente de difusão, um dos parâmetros mais importantes nos cálculos de vida útil, utilizado foi uma estimativa padrão do programa, possibilitando a ocorrência de erros na determinação da vida útil da estrutura.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados da medição do elemento P2 apresentaram valores mais eletronegativos que P1, uma explicação plausível para esse cenário pode ser a posição de P2 em relação à estrutura principal da torre, já que P2 está diretamente inserida na estrutura, enquanto que P1 se encontra mais afastada (3,8m) estando conectada à torre por meio de uma viga (vide fotos 1-a e 2-a).

Os resultados também mostraram a tendência dos potenciais de corrosão na base dos pilares apresentarem maior eletronegatividade do que na região central dos mesmos, o que pode ser explicado pela ocorrência de alguns fatores como a execução do lançamento do concreto, a grande densidade de armadura na região ou a maior ação da umidade na extremidade inferior do pilar.

Os critérios propostos por Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), adotados neste trabalho, se mostraram mais precisos que os critérios de Van Daveer, constantes da norma americana ASTM C-876, corroborando sempre com a avaliação feita segundo os critérios determinados pela recomendação europeia RILEM TC 154-EMC.

O método do potencial de corrosão de meia célula é uma técnica não destrutiva que facilita a investigação das estruturas de concreto armado, com o mínimo de intervenção. Com o emprego desse método é possível identificar a zona catódica onde preferencialmente poderá estar apresentando a corrosão, ou estar com armaduras despassivadas. Uma vez delimitada essa região é possível direcionar ensaios mais profundos e proceder à recuperação de forma mais pontual diminuindo custo e tempo na recuperação.

Como vantagens desse método de avaliação têm-se: custo baixo, rapidez e facilidade na execução das medidas, realização de um rápido mapeamento de potenciais, fornecimento de uma indicação da intensidade da corrosão por meio da análise do gradiente de potencial apresentado, dentre outras. Como desvantagens citam-se: limitações para a aplicação em casos de corrosão por carbonatação, impossibilidade de detectar a corrosão de reforço de aço pré-tensionado quando este se encontra dentro de um tubo de proteção, distorções causadas pela espessura ou pela alta resistividade do revestimento, além da influência de fatores como umidade e teor de oxigênio no concreto, dentre outros.

Quanto à estimativa de vida útil obtida através da aplicação Life-365, de maneira geral, a vida útil das misturas cresceu conforme o aumento dos teores de adições minerais e diminuição da relação água/materiais cimentícios e também que esses fatores atuam no retardamento do início da propagação dos cloretos no revestimento e na diminuição do coeficiente de difusão de cloretos.

O que torna o uso combinado de concretos com maior f_{ck} e adições minerais um meio viável de retardar o início do processo corrosivo em regiões cujo ambiente é extremamente agressivo, como é o caso de boa parte das cidades que compõem a Região Metropolitana do Recife, que apresentam condições de temperatura (entre 25

a 31°), umidade relativa do ar (média anual de 80%) que favorecem a instalação de processos corrosivos, além da grande incidência de névoa salina.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2013, Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2013, Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.
- BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: Schiessl, P., ed. **Corrosion of steel in concrete**. London: Chapman and Hall, 1988.
- BASTOS, E. J. O. **Propedêutica para o estudo da corrosão de armaduras em estruturas de concreto**, Tese de Doutorado, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.
- BERENQUER, R. A. et al. **Recuperação Estrutural do Ginásio de Esportes Geraldo Magalhães - Geraldão**. In: 57º - Congresso Brasileiro do Concreto, 2015, Bonito - MS. O Futuro do Concreto para a Sustentabilidade das Construções, 2015.
- BUONO, L. P. S. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado ensaios eletroquímicos**. Monografia (Conclusão de curso de Engenharia Civil). São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/906041-Universidade-anhembi-morumbi-luciana-pereira-de-souza-buono-corrosao-de-armaduras-em-estruturas-de-concreto-armado-ensaios-eletroquimicos.html>>
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeções técnicas e eletroquímicas**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1999.
- MEDEIROS, M. H. F.; BALBINOT, G. B.; HELENE, P. **Inspeção em prédios no Rio de Janeiro: corrosão em pilares**. *Concreto & Construções*, v. 57, p. 58-66, 2010.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- MIRANDA, A. L. M. **Previsão de vida útil das estruturas de concreto com base nos parâmetros da NBR 6118:2014 utilizando softwares**. Monografia (Conclusão de curso de Engenharia Civil). Brasília: Centro Universitário de Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6419/1/21129313.pdf>>
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**, Tese de Doutorado, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- PROCEQ SA. **Instruções Operacionais – Analisador de Corrosão Canin+**. Schwerzenbach, 2012.
- RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUZA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENCO, M. Z.; HELENE, P. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de**

análise. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.

RILEM CPC-18. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. Materials and Structures, (s.n.), 1988.

RILEM TC 154-EMC. **Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures**. Materials and Structures, Vol. 36, 2003.

TANESI, J. **Contribuição ao desenvolvimento de especificações por desempenho para concretos com escória de alto-forno**. Tese de doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.

UNI. **Determination of Chloride Ion Penetration, Italian Standard 7928**, Rome, 1978

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-244-9

