

# 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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MEMBRANAS MICROFIBROSAS DE POLI (L-ÁCIDO LÁCTICO) (PLLA) PARA REPARO ÓSSEO	
Bárbara Etruri Ciocca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>42</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904045</b>	

**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**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>136</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040413</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>151</b>
COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS	
Amanda Gabriela Dias Maranhão	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040414</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>162</b>
DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS	
Artur Buarque Luna Silva	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040415</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>170</b>
SUGARCANE BAGASSE ASH INTO SILICON PRODUCTS	
Angel Fidel Vilche Pena	
Agda Eunice de Souza	
Silvio Rainho Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040416</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>177</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040417</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>183</b>
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**



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

### Wanessa Souza de Lima

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de  
Engenharia Civil  
Recife – Pernambuco

### Marcelo Lima Silva

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de  
Engenharia Civil  
Recife – Pernambuco

### Fuad Carlos Zarzar Júnior

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de  
Engenharia Civil  
Recife – Pernambuco

### Romilde Almeida de Oliveira

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de  
Engenharia Civil  
Recife – Pernambuco

**RESUMO:** Os problemas oriundos da corrosão de armaduras nas estruturas de concreto armado afetam diretamente sua segurança, capacidade de serviço e vida útil, sendo um dos mais comuns e frequentes relacionados à durabilidade, fato este que exige acompanhamento periódico do quadro, que pode ser feito através de técnicas de avaliação e monitoramento para identificar a ocorrência e até avaliar a gravidade da patologia. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho do método do potencial de corrosão de meia célula para detectar corrosão em armaduras, levando em conta nessa

avaliação todas as limitações impostas pela influência de fatores ligados às características físico-químicas do concreto e do ambiente onde está situada a estrutura inspecionada. Foram analisados dois pilares da Torre de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, uma estrutura em concreto armado com idade de cerca de 40 anos. Na realização do ensaio empregou-se o sistema Canin+, que utiliza como eletrodo de referência uma meia célula de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , onde o mesmo é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância a uma barra de aço da estrutura, sendo o eletrodo movimentado sobre uma grade pré-definida na superfície dos pilares investigados. Como resultado, verificou-se que o pilar P2 apresentou valores mais eletronegativos que P1. Uma explicação para esse cenário pode ser indicada pela posição mais afastada de P1 em relação à estrutura, estando conectada à torre por meio de uma viga. Os potenciais de corrosão dos dois elementos P1 e P2 foram investigados segundo os critérios da RILEM TC 154-EMC.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto armado; corrosão em armaduras; ensaio não destrutivo; inspeção predial; vida útil.

**ABSTRACT:** The problems resulting from the corrosion of reinforced concrete structures directly affects the safety, usability and SERVICE

life of a structure, but the most common problem is related to its durability, requiring frequent supervision. This supervision can be done with evaluation techniques and periodic monitoring to assess the severity of the pathology. This article aims to analyze the performance of the half-cell potential method when measuring corrosion, taking into account all the chemical and physical limitations imposed by the concrete and the environment near the studied structure. Two reinforced concrete pillars, dated around 40-years old, from the rescue tower of the Military Fire Department of Pernambuco were inspected. The inspections were performed, with the Canin + system, that uses as a reference electrode half-cell of  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , connected through a high-impedance voltmeter to a steel bar of the structure, and exciting the electrode on a predefined grid on the surface of the studied pillars. As a result, it was found that the pillar P2 had more electronegative values than P1. An explanation for this case may be indicated by the farthest position of P1 from the structure. P1 is connected to the tower by a beam. Potential corrosion in both elements P1 and P2 were investigated according to the specifications of RILEM TC 154-EMC.

**KEYWORDS:** reinforced concrete; corrosion of steel reinforcement; non-destructive experiments; building inspection; service life.

## 1 | INTRODUÇÃO

O conceito de durabilidade teve início nos anos 1970, com os estudos de Collepardi sobre a penetração de cloretos constatando que o ingresso de cloretos na matriz do concreto ocorre por difusão (COLLEPARDI et al., 1972). Esta informação permite aplicar a segunda lei de Fick, dando origem a modelos capazes de explicarem como ocorre a entrada de cloretos ou de  $\text{CO}_2$  no concreto e que são usados até o presente. Outra ideia importante foi desenvolvida por BAZANT (1979) e TUUTI (1982) com o chamado modelo de dois estágios para determinação da vida útil. O primeiro estágio compreende o período que vai desde a confecção do componente de concreto até o início da corrosão. O segundo estágio corresponde à fase de propagação período no final do qual se considera que a estrutura atingiu uma condição de desempenho que irá requerer intervenção corretiva. A vida útil corresponde ao tempo de início do primeiro e uma fração do tempo correspondente ao segundo estágio. O modelo clássico de corrosão estima o tempo inicial de corrosão e o tempo de propagação. O tempo a partir do qual se dá a corrosão é determinado pelo fluxo das substâncias na camada de cobrimento da armadura até o instante em que atinge a concentração crítica. Quando este valor da concentração é atingido, há a despassivação da armadura e se inicia o processo de corrosão. Daí por diante diversos autores desenvolveram pesquisas considerando os princípios desenvolvidos por Collepardi, Bazant e Tuuti. Grande número de autores desenvolveu estudos experimentais caracterizando e detalhando os mecanismos da corrosão por cloretos e os devidos à carbonatação. Alguns deles continuam ativos nestas linhas de pesquisas, até o presente. Trabalhos

de Gjörv sobre corrosão de armaduras, descrição da forma como se dá a carbonatação e sobre resistividade elétrica do concreto, (GJØRV, 1975), (GJØRV; VANNESLAND; EL-BUZADY, 1976), (GJØRV; VANNESLAND; EL-BUZADY, 1977). A Professora Carmem Andrade do Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja, Madrid, tem expressiva produção resultante de pesquisas desenvolvidas na área de corrosão atuando em múltiplos tópicos.

O ambiente alcalino que circunda as barras de aço cria um filme protetor. No entanto, com a penetração de água ou de dióxido de carbono, o filme é rompido permitindo a corrosão. Em ambiente marinho, dependendo da resistência do concreto contra a penetração de cloretos e da espessura da capa de cobrimento, pode levar vários anos para que a armadura seja atingida. Uma vez que a armadura seja alcançada, com a sua despassivação, em poucos anos aparecerão fissuras e vestígios de produtos resultantes da oxidação. Após este estágio poderá levar ainda vários anos para que a capacidade resistente da peça seja severamente reduzida. Após o início da corrosão por cloretos, as regiões anódicas concentram pontos de corrosão, em forma de pites. Nem todas as áreas despassivadas corroem, necessariamente. Daí por diante, o processo evolutivo conduzirá ao lascamento com o desprendimento de pedaços de concreto situados no entorno da armadura e, por fim, o colapso da peça.

Após a construção de uma estrutura de concreto, os cloretos penetram com certa facilidade através do cobrimento do concreto. Durante os primeiros anos, existe um aumento da concentração superficial de cloretos e um decréscimo do coeficiente de difusão, devido tanto à hidratação do cimento, quanto aos cloretos que penetraram. Logo após, a camada superficial do concreto pode carbonatar ou estar sujeita aos ciclos de molhagem e secagem, acarretando uma mudança no mecanismo de penetração dos cloretos. Após a saturação da região superficial do componente de concreto, os íons cloreto penetram no concreto por difusão. A Segunda Lei de Fick relaciona a concentração de íons cloretos na profundidade (x) ao longo do tempo, sendo representada pela Equação (3.3) (CALLISTER, 2007).

### 1.1 Mecanismo de corrosão por íons cloretos

Os íons cloretos presentes na pasta do cimento em volta da armadura reagem em locais anódicos, para formar o ácido clorídrico que destrói a película passivadora no aço na forma de pite (corrosão pontual). A superfície do aço fica ativa para formar o ânodo, com a superfície passiva formando o cátodo. As reações que ocorrem devido aos cloretos são:



O pite se mantém ativo e aumenta em profundidade, devido ao ambiente ácido, após este ter se formado. A corrosão por pite acontece em um determinado potencial. Quando um pite é iniciado, o potencial do aço em redor cai, impedindo a formação de

um novo pite por algum tempo (FERREIRA, 2004).

## 1.2 Íons cloreto

A presença de íons cloretos pode derivar do mar, de produtos industrializados, de aditivos ou de estações de esgoto. Os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto são os seguintes:

1. absorção capilar;
2. difusão iônica;
3. permeabilidade sob pressão;
4. migração iônica.

## 1.3 Considerações sobre o transporte de cloretos

O transporte de cloretos e, também, de outras substâncias para o interior do concreto acontece principalmente devido a estrutura porosa da pasta de cimento endurecida. Portanto, um concreto com uma relação a/c menor, bem como a adição de minerais como a microssílica ou o metacaulim, muito comum no Brasil, proporcionará um concreto mais denso e resistente, dificultando o transporte de agentes agressivos diminuindo a difusão de íons dentro do concreto. O Brasil não é o maior produtor de caulim do mundo, mas 40% das reservas de caulim sedimentar estão localizadas no território Brasileiro (DNPM, 2003).

## 1.4 Primeira e segunda leis de Fick

Difusão (Mecanismo de difusão). Para se movimentar de uma posição para outra, os átomos necessitam de energia para quebrar as suas ligações com os vizinhos, e provocar a distorção necessária durante o movimento de um local para o outro. Esta energia é originária das vibrações atômicas. Em qualquer temperatura diferente do zero absoluto, todos os átomos independentemente de seu estado de agregação (gasoso, líquido ou sólido), estão em movimento randômico constante. Um conjunto de partículas que se difunde tem uma tendência de ser levada de lugares de maior concentração (de átomos/moléculas) para outros de menor concentração. Por isso a difusão é conhecida como sendo um fenômeno de transporte (Figura 1).

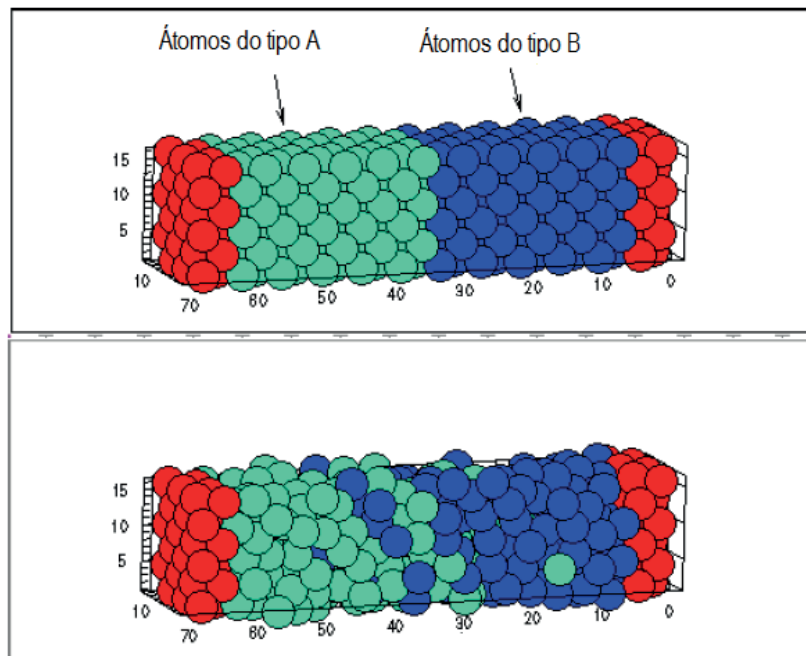


Figura 1. Movimento randômico dos átomos (LEONID, 2013)

### 1.5 Corrosão da armadura pela ação de cloretos

A concentração superficial de íons aumenta após os primeiros anos, tende a ficar constante proporcionando um decréscimo do coeficiente de difusão. O início do mecanismo de corrosão corresponde ao momento em que ocorre despassivação das armaduras, ou seja, quando a ação dos cloretos ultrapassa determinada concentração crítica (TREJO et al, 2003), (GJØRV, 2009). Quando a armadura é alcançada e conseqüentemente despassivada, a capacidade da armadura resistir aos íons cloretos será severamente reduzida e a estrutura sujeita a falhas. Fissuras e manchas resultantes da oxidação surgirão. Portanto, dependendo da resistência à compressão do concreto, da sua porosidade, da espessura do revestimento em um meio ambiente marinho, a penetração de cloretos poderá levar muitos anos, para atingir a armadura.

### 1.6 Difusão no estado permanente (primeira lei de Fick)

A difusão é um fenômeno em que um certo material é transportado dentro de outro ao longo do tempo. Frequentemente é necessário conhecer a velocidade da difusão ou a taxa de transferência de massa (CALLISTER, 2007). Esta taxa expressa o fluxo de difusão ( $J$ ), definida como sendo a massa  $M$  (ou o número de átomos), difundindo através e perpendicularmente a uma unidade de área de uma seção transversal de um sólido por unidade de tempo, e é representada pela Equação 1:

$$J = \frac{M}{At} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde  $A$  significa a área transversal que a difusão acontece,  $t$  é o tempo de

difusão e  $J$  é o fluxo de difusão. Em termos diferenciais, a expressão se torna:

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

Equação (2)

A unidade para  $J$  são quilogramas ou átomos por metro quadrado por segundo ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{-s}$ ) ou ( $\text{átomos}/\text{m}^2\text{-s}$ ). Uma condição para ocorrer a difusão no estado permanente é que o fluxo de difusão  $J$  seja constante ao longo do tempo. Um exemplo comum da difusão no estado permanente é a difusão de átomos de um gás através de uma placa de metal na qual as concentrações (ou pressões) em ambas as superfícies da placa são mantidas constantes. Tomando como base as considerações anteriores, a primeira Lei de Fick pode ser representada pela Equação 3:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

Equação (3)

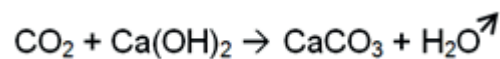
OU

$$J = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

Mecanismo da carbonatação - O dióxido de carbono, ( $\text{CO}_2$ ), comum em meio urbano, é um gás agressivo para as estruturas de concreto armado, capaz de reduzir o Ph e, em contato com a água, reage, produzindo ácido carbônico.



O  $\text{CO}_2$ , também pode reagir com o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  existente na composição do cimento Portland, resultando em carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ , e água, contribuindo para a redução do pH na solução dos poros do concreto para valores inferiores a 8,5 e despassivação das armaduras.



Esse processo de deterioração do componente de concreto armado resultante da carbonatação, leva à perda gradual da resistência, que poderá conduzir à sua falha e está relacionado diretamente com o teor de  $\text{CO}_2$  existente na atmosfera. Este estudo objetiva identificar o estágio de corrosão que a armadura de um componente de concreto armado se encontra, de forma experimental com a utilização de um equipamento analisador de corrosão, o Canin Plus e um localizador de barras de aço, o Profometer, disponíveis no Laboratório de Ensaios Físicos de Componentes Construtivos do CCT da Unicap.

## 2 | METODOLOGIA

Foi efetuada ampla revisão bibliográfica sobre a análise do fenômeno físico-químico que produz a degradação da estrutura em concreto armado pela ação de cloretos e por dióxido de carbono empregando modelos físicos, e matemáticos, utilizando parâmetros que dependem das condições de projeto da estrutura e que interferem no processo de deterioração. Estudo analítico e identificação das principais etapas do processo de corrosão por cloretos: (a) absorção dos íons cloreto até a saturação da camada superficial do concreto; (b) penetração por difusão até atingir a armadura e despassivá-la; (c) desenvolvimento do processo até atingir um nível inaceitável de corrosão, (d) detalhamento da fase de propagação e caracterização da etapa onde ocorrem fissuras; (e) intensificação e propagação das fissuras seguidas de lascamento (spalling) e, por fim, (f) fase de colapso da peça. Ensaio laboratoriais e de campo aplicados em uma estrutura de existente empregando o pacômetro Profometer 600 que permitem localizar barras da armadura de peças de concreto armado. Utiliza o princípio da corrente parasita com indução de pulso como método de medição e medir a espessura da camada de concreto sobre a qual está situada a barra de aço e o seu diâmetro de forma precisa e não destrutiva. Ensaio utilizando o instrumento Canin + para avaliar a corrosão do aço no concreto armado. O método se baseia na medição do potencial de corrosão de meia célula. Medições precisas de potencial permitem detectar corrosão ativa em armaduras situando os resultados medidos em intervalos previstos pelas normas técnicas pertinentes, a exemplo da ASTM C876:1991. Serão também estudados os princípios e teorias em que estão baseadas as construções dos equipamentos, bem como os fundamentos dos procedimentos de ensaios que os instrumentos permitem realizar.

### 2.1 Detalhamento da metodologia adotada

O método do potencial de corrosão de meia célula é de fácil execução e de rápida obtenção de resultados, como não é capaz de medir a evolução e a velocidade do processo corrosivo da armadura. Sua principal finalidade é indicar as probabilidades de ocorrência da corrosão e classificação do estado do concreto através da medição dos potenciais na superfície do concreto, obtendo assim uma imagem característica do estado de corrosão da superfície do aço dentro do concreto, pois seus dados são capazes de mostrar o balanço entre a reação anódica e a catódica. 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 ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ), ou seja uma vareta de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante e conhecido (no caso do sistema adotado, essa resistência é de  $10 \text{ M}\Omega$ ). Para a realização da investigação, o eletrodo de referência é conectado por meio de um voltímetro (Figura 2) de alta impedância (no caso do sistema adotado, essa resistência é de  $10 \text{ M}\Omega$ ) ao reforço de aço e movimentado em uma grade, definida

de acordo com a estrutura analisada, acima da superfície de concreto.

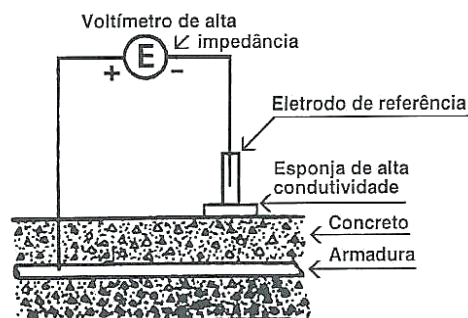


Figura 2: Desenho esquemático do sistema para medição do potencial de corrosão de meia célula, onde o eletrodo de referência é conectado à armadura longitudinal e movimentado na superfície de concreto para a realização das medições pelo voltímetro de alta impedância (sistema Canin+).

(Fonte: CASCUDO, 1999).

Os critérios de avaliação quanto ao estado do concreto investigado são definidos pela recomendação RILEM TC 154-EMC (*Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures*), vide Tabela 1 abaixo:

Concreto saturado de água sem O <sub>2</sub>	-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/CuSO<sub>4</sub>.

(Fonte: RILEM TC 154-EMC, 2003).

Já a norma ASTM C-876/91 (*Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*) estabelece critérios para a avaliação das probabilidades de ocorrência do processo de corrosão de armaduras (também conhecidos como “critérios de Van Daveer”), vide Tabela 2 abaixo:



Tipo de eletrodo	Probabilidade de ocorrer a corrosão		
	< 10%	10% - 90%	> 90%
ENH*	> 0,118 V	0,118 V a -0,032 V	< -0,032 V
Cu/CuSO <sub>4</sub> /Cu <sup>2+</sup> (ASTM C 876)	> -0,200 V	-0,200 V a -0,350 V	< -0,350 V
Hg,Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /KCl (sol. saturada)**	> -0,124 V	-0,124 V a -0,274 V	< -0,274 V
Ag,AgCl/KCl (1M)	> -0,104 V	-0,104 V a -0,254 V	< -0,254 V

Tabela 2: Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial, definida pela norma americana ASTM C-876/91 (Fonte: RIBEIRO et al, 2014).

Alguns fatores produzem distorções nos resultados obtidos pelo método de aferição do potencial corrosivo. Propriedades como umidade, temperatura (ponto de congelamento), espessura da camada do concreto e o teor de oxigênio no meio influenciam nos potenciais de meia célula. Tais fatores justificam a utilização do sistema localizador de barras “Profoscope”, que utiliza tecnologia eletromagnética de indução de pulso, para detectar armaduras, para medir a camada de concreto da peça (cobrimento), verificar a localização e as bitolas das armaduras longitudinais (principal) e transversais (estribos). De posse dessas informações é possível tomar as providências necessárias para que o ensaio retorne resultados consistentes.

### 3 | INSPEÇÕES REALIZADAS

Foram inspecionados dois pilares, denominados P1 e P2 (Foto 4-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.

Trata-se de uma estrutura antiga em concreto armado que, segundo informações coletadas no local, tem idade estimada de 40 anos e chegou a ser utilizada como caixa d’água durante um longo período, se encontrando desativada há muito tempo. Visualmente foi possível detectar patologias como pontos de armaduras expostas e oxidadas, infiltrações e fissuras verticais em seus elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), como se pode observar no material fotográfico exposto a seguir (Fotos 3-a, 3-b, 3-c e 3-d).

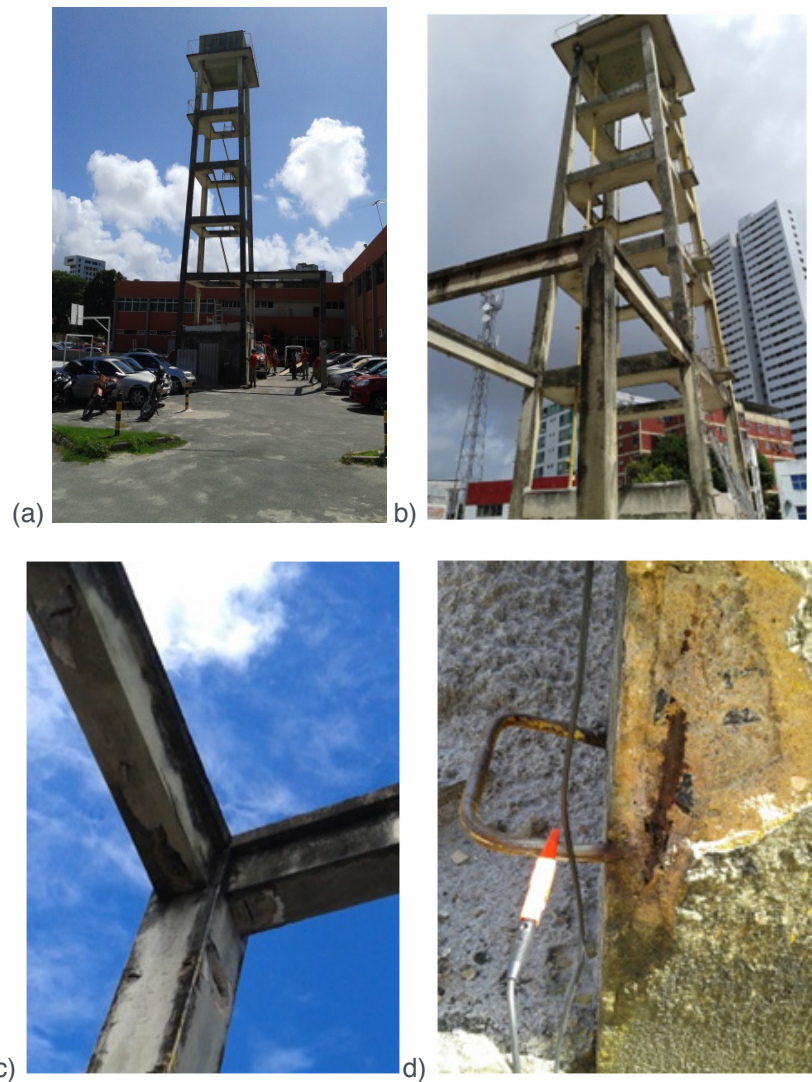
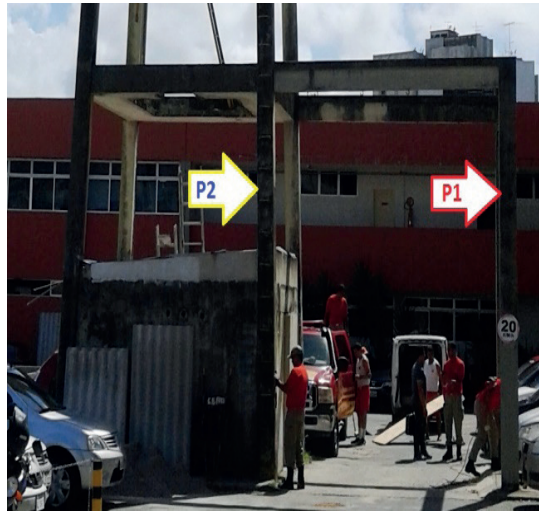


Foto 3: a e b) Vista geral da Torre de Salvamento do CBMPE; c e d) elementos da Torre de Salvamento do CBMPE apresentando deslocamento do revestimento externo, pontos de armadura exposta e oxidada.

Fonte: autores

### 3.1 Planejamento, preparação e execução

Primeiramente colocou-se a tampa do eletrodo que contém uma rolha de molho em um recipiente com água, a rolha deve estar saturada por água para assegurar um contato de baixa resistividade. Em seguida preparou-se uma solução de água destilada e sulfato de cobre saturado na proporção de 40 unidades de massa de  $\text{CuSO}_4$  para 100 unidades de massa de  $\text{H}_2\text{O}$  (nessa aplicação 15g de  $\text{CuSO}_4$  foram necessários para a solução), a qual, depois de pronta, foi inserida no recipiente do eletrodo de barra.



(a)



(b)



(c)



(d)

Foto 4: 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: autores

Após, foram localizadas as posições das armaduras na peça, medidas a espessura do concreto e as bitolas das armaduras longitudinais (principais) e transversais (estribos), com o auxílio do pacômetro “Profoscope” (Foto 4b) e Figura 3), foi definida a grade na superfície dos pilares visando identificar de forma mais precisa possível a extensão da superfície a ser inspecionada. Para o caso em tela foi adotada a grade de 14 x 50 cm no pilar denominado P1 e 14 x 40 cm no pilar denominado P2.

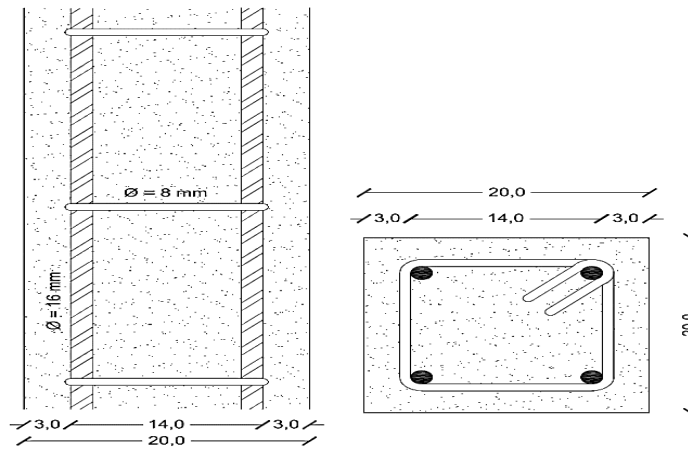


Figura 3: Representação esquemática das seções transversal e longitudinal dos pilares P1 e P2 (medindo 20x20 cm de seção transversal), cobrimento de 3,0 cm e as armaduras principais com bitola de 16 mm e estribos com bitola de 8 mm.

Segundo o manual de operações do aparelho utilizado na inspeção (sistema Canin+), o potencial que pode ser medido na superfície fica mais positivo com o aumento da camada de concreto, ocasionando distorções nos resultados. Para os elementos estruturais inspecionados, foi efetuada 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 valores exatos, eliminando a necessidade de correções ou compensações posteriores. Depois da remoção do cobrimento a superfície de testes foi pré-umedecida, visando o aumento da mobilidade dos íons na área inspecionada, favorecendo o processo eletroquímico no sistema aço/concreto. Uma vez tomadas todas as providências supracitadas, iniciou-se as medições dos potenciais de corrosão. Para efeito de comparação, foram executadas aspersões de nitrato de prata e fenolftaleína para verificar a presença de íons cloreto e o estado de carbonatação do concreto dos pilares (Figuras 5 a, b, c, d).

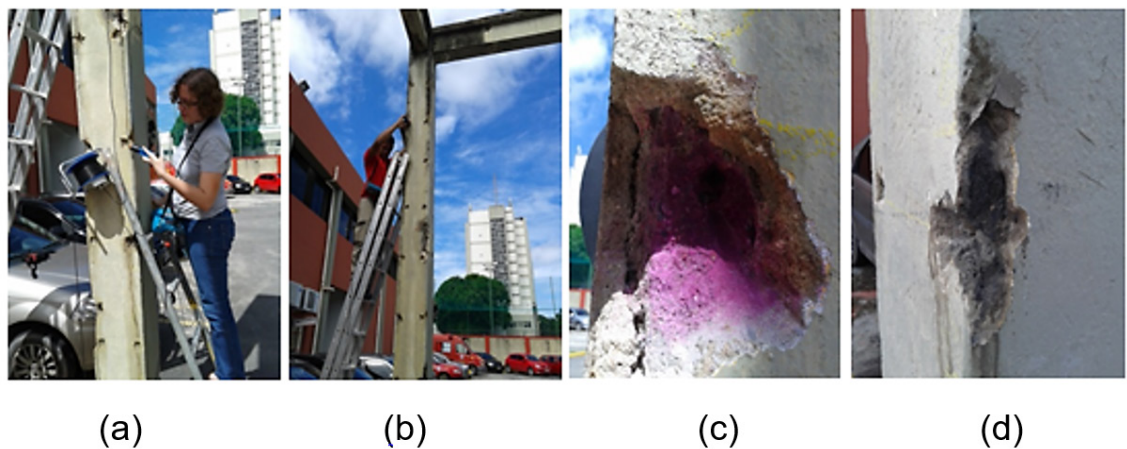


Foto 5 a e b) Execução das medições de potencial de corrosão; c) aspersão de fenolftaleína no elemento P1; d) aspersão de nitrato de prata no elemento P1.

Fonte: autores

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 3-a e 3-b apresentam os resultados obtidos para cada pilar, enquanto que os gráficos 1 - 4 correlacionam as leituras de potencial executadas nos elementos P1 e P2 e as probabilidades do desencadeamento do processo corrosivo determinadas pela ASTM C-876/91 (Tabela 2), bem como com as faixas típicas de diferentes condições do concreto, determinadas pela RILEM TC 154-EMC (Tabela 1).

Pilar P1		
Posição (cm)	Potencial (mV)	
	Lado Esquerdo	Lado Direito
80	-150	-135
130	-100	-130
180	-185	-155
230	-220	-180
280	-155	-160
330	-125	-110
380	-220	-145
430	-175	-130

Pilar P2		
Posição (cm)	Potencial (mV)	
	Lado Esquerdo	Lado Direito
40	-355	-315
80	-220	-235
120	-140	-180
160	-150	-175
200	-135	-155
240	-155	-175
280	-185	-235
320	-155	-190
360	-125	-80
400	-70	-95
440	-125	-115

Tabela 3 a: Potencial de corrosão no pilar P1

Tabela 3 b: Potencial de corrosão no pilar P2

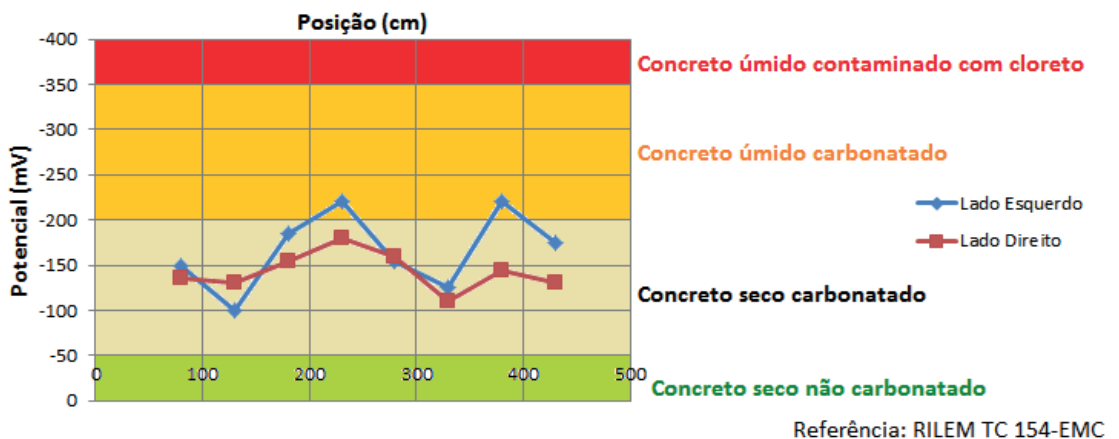
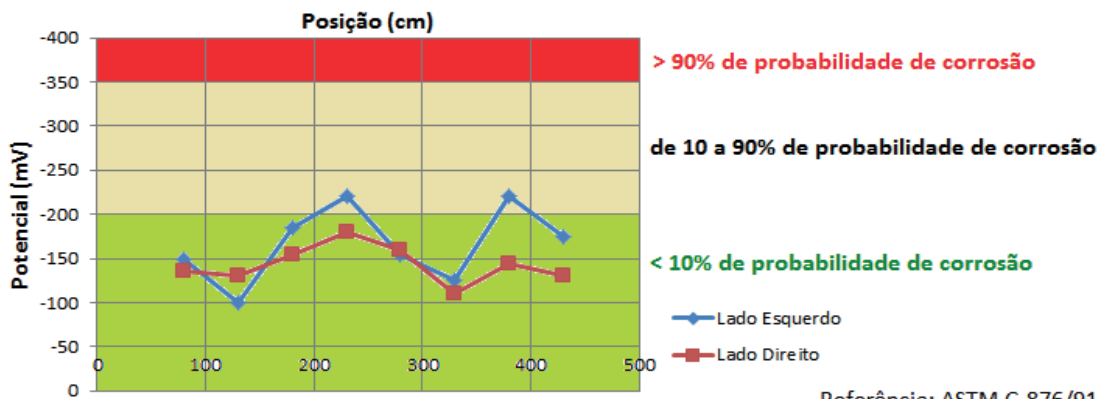


Gráfico 1: Correlação entre as medidas de potencial de corrosão referentes ao pilar P1 e os critérios de avaliação constantes na norma ASTM C-876/91 e na recomendação RILEM TC 154-EMC.

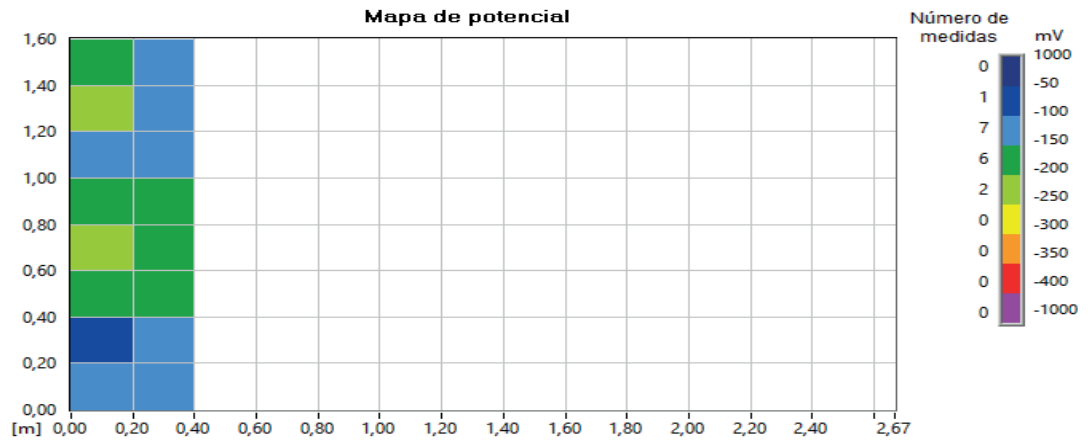


Gráfico 2: Mapa de potencial referente ao elemento P1.

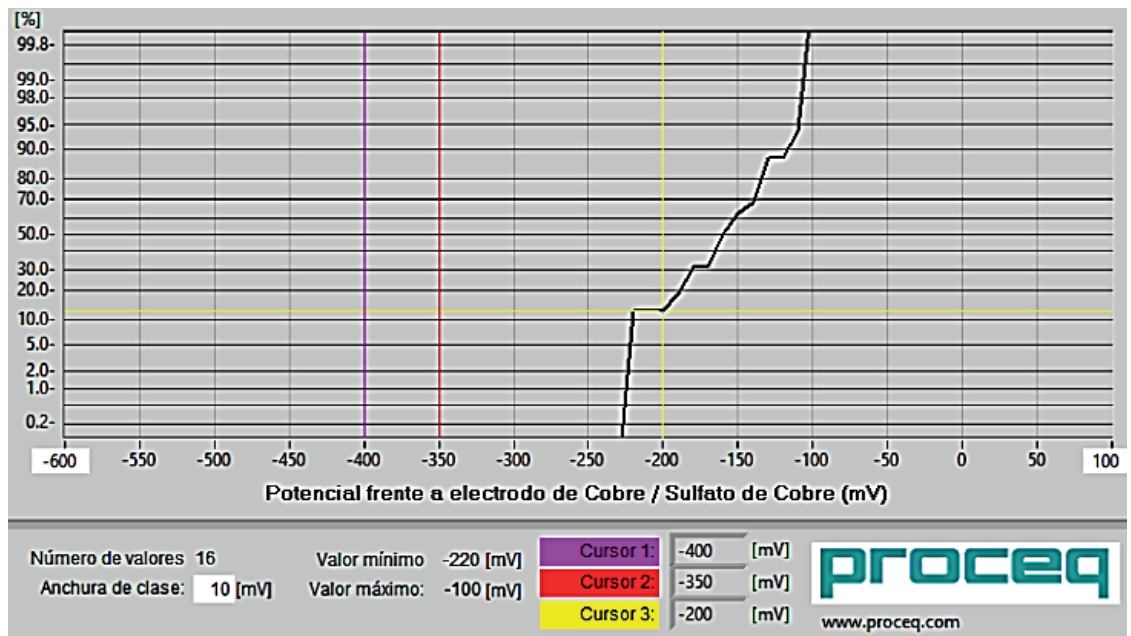
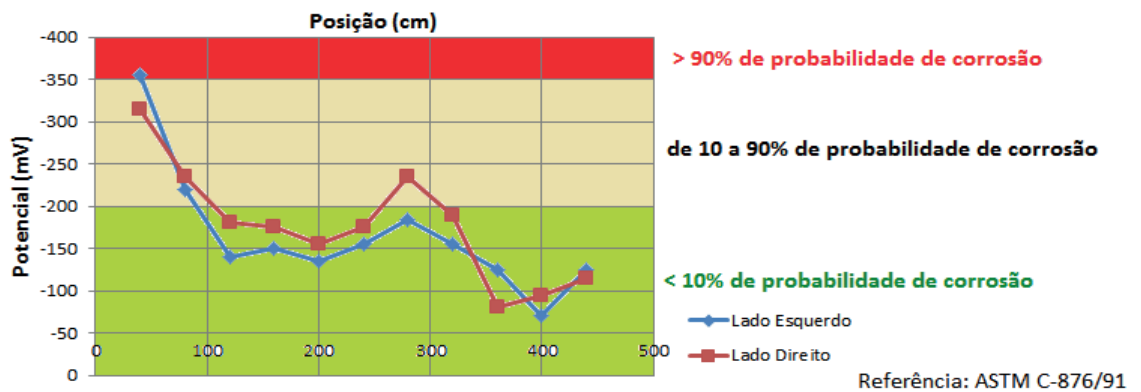


Gráfico 3: Frequências cumulativas dos potenciais referentes ao elemento P1.



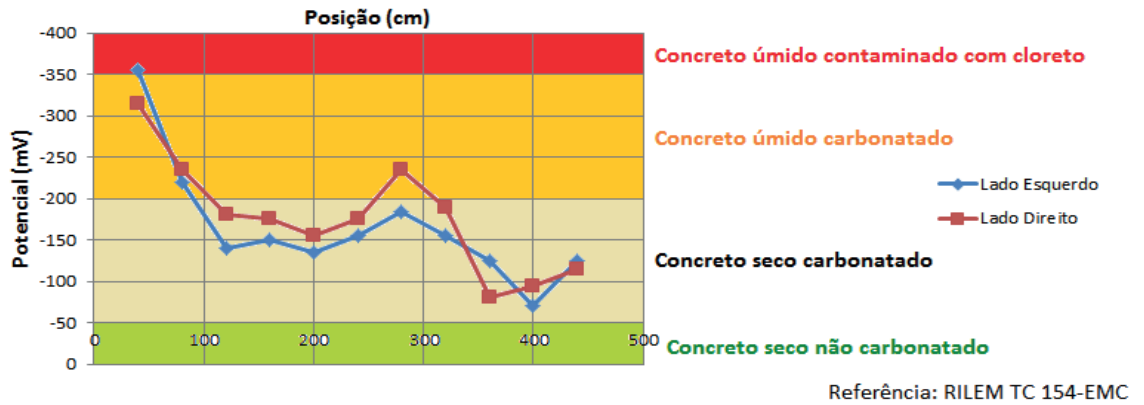


Gráfico 4: Correlação entre as medidas de potencial de corrosão referentes ao pilar P2 e os critérios de avaliação constantes na norma ASTM C-876/91 e na recomendação RILEM TC 154-EMC.

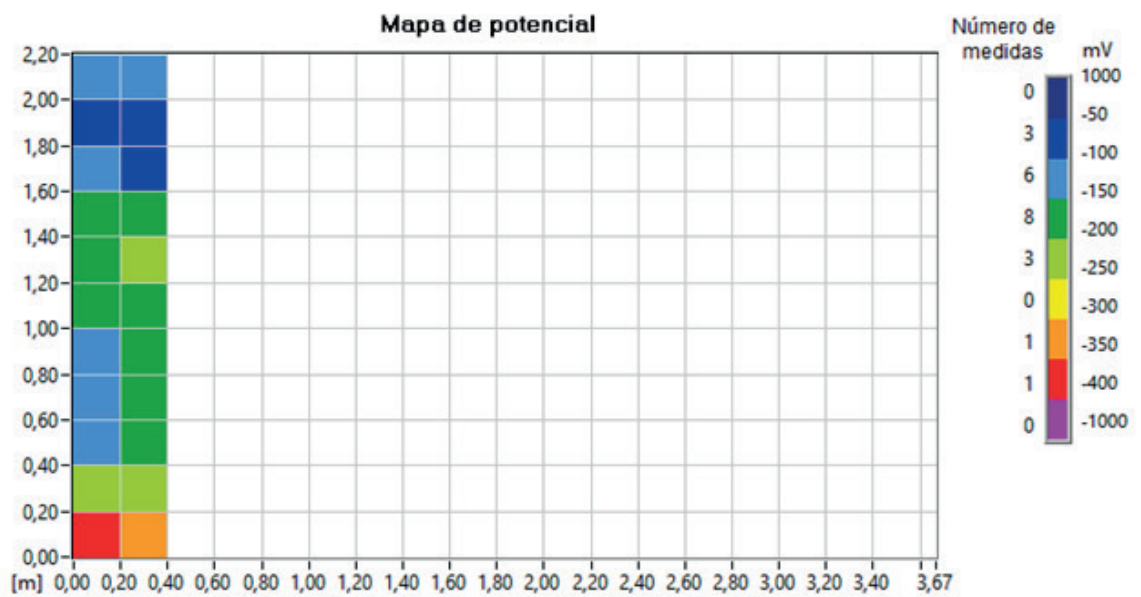


Gráfico 5: Mapa de potencial referente ao elemento P2.

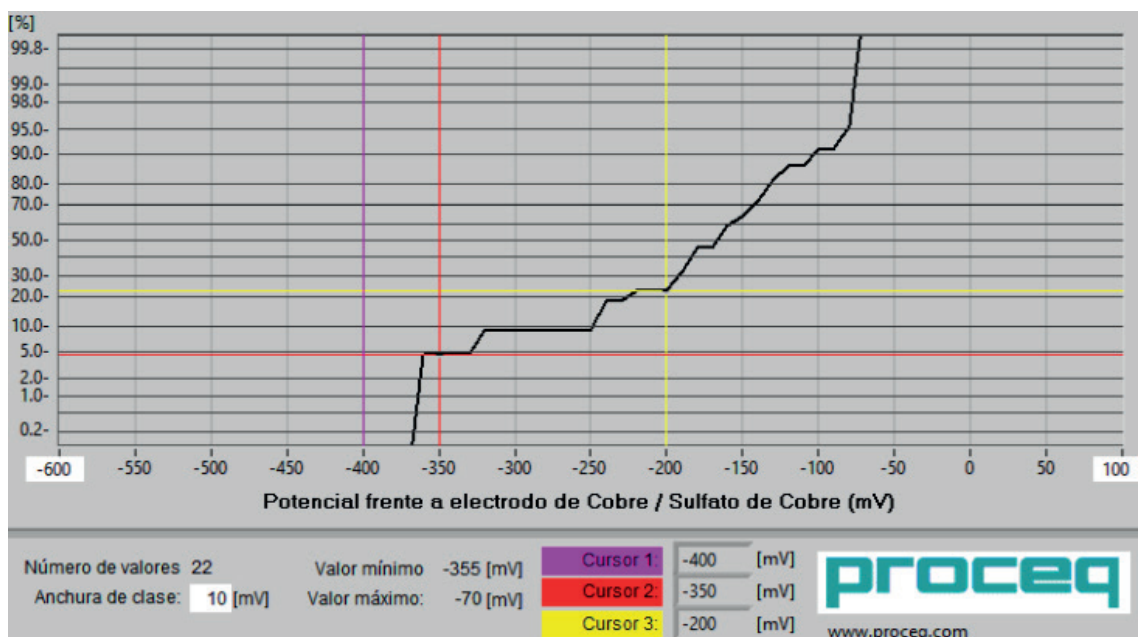


Gráfico 6: Frequências cumulativas dos potenciais referentes ao elemento P2.

Antes de qualquer avaliação, deve ser ressaltado que o potencial do eletrodo de cobre apresenta valores mais positivos que o potencial do sistema aço/concreto, logo, é usual que os valores obtidos nas inspeções sejam negativos independentemente do estado da armadura (MEDEIROS et al, 2010). A partir dos gráficos 1 e 2, percebe-se que o elemento P1 apresentou valores de potenciais majoritariamente na faixa de baixa probabilidade (menor que 10%) dos critérios de Van Daveer. O gráfico das frequências relativas (gráfico 3) retorna que apenas 10% dos potenciais de corrosão se encontram na zona de incerteza (probabilidade entre 10 e 90% da ocorrência de corrosão), enquanto que 90% se encontra na zona de baixa probabilidade (menor que 10%), de acordo com a avaliação contida na ASTM C-876/91 onde a linha vermelha representa a o limite superior da zona de incerteza e a linha amarela representa seu limite inferior. 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 e a alcalinidade do concreto – coloração rósea após a aspersão da fenolftaleína, 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.

Para o elemento P2 (gráficos 4 e 5) foi observada uma tendência levemente diferente, onde uma maior fatia de potenciais aparece nas zonas de incerteza e de alta probabilidade em relação ao caso anterior do pilar P1, mesmo assim, os resultados ainda se encontram majoritariamente na zona de baixa probabilidade. Percebe-se também o aumento da probabilidade conforme a diminuição da altura da posição onde foram feitas as medições. O gráfico das frequências relativas dos potenciais de corrosão medidos (gráfico 6) retrata de forma clara essa nova tendência, mostrando que, de acordo com os critérios de Van Daveer (ASTM C-876/91), 5% das medidas de potenciais de corrosão se encontram na zona de alta probabilidade, enquanto que 20% se encontram na zona de incerteza e 75% na zona de baixa probabilidade 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 detectou-se contaminação por cloretos.

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 podem ser considerados para explicar essa tendência demonstrada pelos resultados obtidos quanto ao potencial de corrosão na base dos pilares apresentar maior eletronegatividade do que na região central dos mesmos.

Na base dos pilares há uma ocorrência maior de falhas no lançamento do concreto, principalmente quando este procedimento é executado a partir de uma certa



altura e sem os cuidados adequados. Tal situação conduz à segregação do concreto, ocasionando a menor concentração de pasta e uma maior concentração de agregados nesta região, fazendo surgir duas regiões com concreto em diferentes teores de cimento (uma mais rica, situada na porção central, e outra mais pobre, situada na base do pilar, onde os valores do potencial de corrosão tendem a ser mais negativos). A densidade de armaduras nessa mesma região é mais elevada, visto que é neste ponto que se faz o transpasse das armaduras, dificultando o adensamento do concreto lançado na base dos pilares e, conseqüentemente, influenciando os valores dos potenciais de corrosão. Ressalta-se também que nessa área, o acúmulo de água se dá por maior tempo e intensidade fazendo com que essa porção seja mais suscetível à ação da umidade que as regiões mais próximas da laje de cobertura, geralmente mais seca, justificando assim a maior eletronegatividade dos valores de potencial de corrosão na base dos pilares.

Outro ponto a ser destacado é que o elemento P2 apresentou valores mais eletronegativos que o P1, uma explicação para esse cenário pode ser indicada pela 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.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados neste trabalho são resultados das inspeções realizadas em dois pilares da Torre de Salvamento do CBMPE, uma estrutura em concreto armado, com idade aproximada de 40 anos, apresentando sinais de patologias como pontos de infiltração e oxidação das armaduras, armaduras expostas e fissuras. Levando em conta que a Torre de Salvamento foi utilizada por muito tempo como suporte para uma caixa d'água, se encontrando desativada, privada de maiores serviços de manutenção, estando assim exposta às intempéries durante muitos anos, é condizente a ocorrência de valores mais eletronegativos nas áreas inferiores do pilar devido à e fatores como a execução do lançamento do concreto, a ação da umidade na estrutura e a maior densidade de armaduras na região da base do pilar. Segundo Cascudo (1999), os critérios de Van Daveer não têm aplicação imediata para uma corrosão cuja causa primordial não tenha sido pela ação de cloretos. Assim, casos de corrosão por carbonatação não devem ser avaliadas por este critério. Nesse caso, deve-se atentar para os critérios de avaliação da recomendação europeia RILEM TC 154-EMC para efetuar tais avaliações.

Quanto ao método do potencial de corrosão de meia célula, utilizado neste trabalho através do sistema Canin+ para avaliação das probabilidades da ocorrência de corrosão nas armaduras e da condição do concreto da peça avaliada. Pode-se dizer que se trata de um meio rápido e prático para a detecção de mudanças no sistema

aço/concreto (desde que se faça um monitoramento periódico da estrutura a ser inspecionada), mostrando-se uma ferramenta útil nos serviços de inspeção e avaliação da durabilidade do concreto armado. Como vantagens desse método de avaliação tem-se custo baixo, rapidez e facilidade na execução das medidas, simplicidade dos equipamentos, possibilidade de se realizar 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 as limitações para a aplicação da técnica de medição do potencial elétrico quanto aos casos de corrosão devido à carbonatação, pois seu desenvolvimento se dá através de macro elementos menores. A impossibilidade de detectar a corrosão de reforço de aço pré-tensionado quando este se encontra dentro de um tubo de proteção, as leituras da taxa de corrosão com valor limitado devido a sua variação em relação ao tempo, as distorções causadas pela espessura ou a alta resistividade do revestimento, a influência de fatores como umidade e teor de oxigênio no concreto, o não fornecimento de dados quantitativos da taxa de corrosão, dentre outros.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876/91, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1991.

BAZANT, Z. **Physical model for steel corrosion in concrete structures**. Part 1 – Theory, Part-2 – Application, Journal of Structural Division, ASCE, 105, ST6, 1979, pp.1137-1166.

CALLISTER, WILLIAM D. JR. **Materials Science and Engineering An Introduction**. Department of Metallurgical Engineering The University of Utah with special contributions by David G. Rethwisch. The University of Iowa. USA. 2007.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeções técnicas e eletroquímicas**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1999.

CASTRO, A., R. FERREIRA, A.M. LOPES, O. CASCUDO, H. CARASEK. **“Relationship between Results of Accelerated and Natural Carbonation in various Concretes”**. Proc. International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures. Barcelona, 2004. Pp. 988-997.

COLLEPARDI, M., MARCIALIS, A., TURRIZIANI, R. **Penetration of Chloride Ions into Cement Pastes and Concretes**, J. Am. Cer. Soc., Discussion and Notes. Vol. 55, N.10, 1972, pp.534-535.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **PORTARIA N° 439, DE 21 DE NOVEMBRO DE 2003** Publicada no DOU de 25/11/2003

GJØRV, O.E. **Control of steel corrosion in marines sea structures**. ACI Separate Communication, SP-49. Detroit. 1975, pp.1-10.

GJØRV, O.E.; VANNESLAND; EL-BUZAYDY. **Diffusion of Dissolved Oxygen Through Concrete**. Coorrosion/76, Int. Corrosion Forum. March 22-26, 1976.

GJØRV, O.E.; VANNESLAND; EL-BUZAIDY. **Electrical Resistivity of Concrete in the Oceans**. The 9th Annual Offshore Technology Conference in Houston. May 2-5, 1977, pp.581-588.

GJØRV, O.E. **Durability design of concrete structures in severe environments**. Published by Taylor & Francis, 2009.

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.

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

VIEIRA, D. V. et al. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado**. Matéria (Rio J.) [online]. 2010, vol. 15, nº. 3. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11145>> Acessado em: 18/01/2015.

TREJO, David; PILLAI, Radhakrishna G.. **Accelerated Chloride Threshold Testing: Part I-ASTM A 615 and A 706 Reinforcement**. ACI Materials Journal, Technical Paper. 2003.

TUUTTI, K.. **Corrosion of Steel in Concrete**, CBI, Research Report 4, 468p. Stockholm, Sweden (1982).

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

