

## ESTUDO DA CORROSÃO DOS AÇOS CARBONOS CA-25, CA-50 E CA-60

Sara Boechat Henrique (IC) e Massaki de Oliveira Igarashi (Orientador)

**Apoio: PIVIC Mackenzie**

### RESUMO

A corrosão em armaduras é uma das resistências da natureza diante do comportamento físico-químico dos aços utilizados na construção civil. Considerando a patologia citada, o presente trabalho tem o objetivo de estudar o desenvolvimento da corrosão em corpos-deprova de aço carbono, sendo eles do tipo CA-25, CA-50 e CA-60, durante um, dois e três meses de ensaio por imersão (numa solução de NaCl 5%) e por exposição atmosférica ao longo de três meses ininterruptos. Conhecer uma melhor forma de lidar com a presença desses materiais nos canteiros-de-obra possibilita menos desperdício e menor custo de projeto. A revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos possibilitou o conhecimento técnico e teórico sobre a forma de se realizar os experimentos e reduziu os erros propagados. A análise dos dados experimentais permitiu definir a diferença de cada aço quando submetidos aos dois ensaios, qual aço resiste mais à corrosão e buscou-se apresentar os motivos dessa diferença. Desta maneira, o resíduo de corrosão do aço CA-60 apresentou a cor alaranjada, diferente do aço CA-25 e CA-50 cujos resíduos apresentaram uma cor escura; além do mais, os aços CA-50 e CA-25 apresentaram a maior quantidade de resíduo de corrosão por que apresentam maior área de superfície de contato com a solução utilizada. Também se destacou que os aços de dureza natural (CA-25 e CA-50) são aços laminados a quente e não sofrem tratamento algum após a laminação e suas características elásticas são alcançadas pela composição química adequada com o carbono, manganês, silício e cromo.

**Palavras-chave:** corrosão, oxidação, aço carbono.

### ABSTRACT

Corrosion in reinforcement is one of nature's resistance to the physical-chemical behavior of steels used in civil construction. Considering the mentioned pathology, the present work aims to study the corrosion development in carbon steel specimens CA-25, CA-50 and CA-60 reinforced concrete structures during one, two and three months of immersion test (in a 5% NaCl solution) and atmospheric exposure over three consecutive months. To Know a better way to deal with the presence of these materials in the construction provides less waste and a lower design cost. The bibliographical review of academic papers made possible the technical and theoretical knowledge on how to perform the experiments and reduced the propagated errors. The analysis of the experimental data allowed to define the difference of

each steel when submitted to the two tests, which steel is more resistant to corrosion and sought to present the reasons for this difference. In this way, the corrosion residue of the CA60 steel presented the orange color, unlike the CA-25 and CA-50 steel, that the residue presented a dark color, besides the CA-50 and CA-25 carbon steel presented the highest corrosion residue because it has a higher contact surface area with the solution used, and it has also been pointed out that natural hardness steels (CA-25 and CA-50) are hot rolled steels and are not treated after the lamination and its elastic characteristics are achieved by the appropriate chemical composition with carbon, manganese, silicon and chromium.

**Key words:** corrosion, oxidation, carbon steel.

## **1 INTRODUÇÃO**

O objetivo do presente trabalho foi estudar o desenvolvimento da corrosão em corpos-de-prova de aço carbono CA-25, CA-50 e CA-60 durante um, dois e três meses de ensaio por imersão (numa solução de NaCl 5%) e por exposição atmosférica ao longo de três meses ininterruptos; isto possibilitou a identificação dos fatores que influenciam o fenômeno da corrosão, a avaliação de formas para se minimizar o evento da corrosão em vergalhões.

No trabalho é explicitado o comportamento dos vergalhões CA-25, CA-50 e CA-60 e sua corrosão ao longo do tempo.

A pesquisa busca apontar dados referentes a ensaios qualitativos que descortinam o comportamento dos aços CA-25, CA-50 e CA-60 quando submetidos aos dois experimentos utilizados, sendo eles: exposição atmosférica e aceleração por imersão em NaCl.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A corrosão de metais pode ser definida, sumariamente, como a tendência espontânea do metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de mais baixa energia livre. Termodinamicamente é possível afirmar que a tendência de decréscimo energético é a principal força encorajadora da corrosão metálica. Ela afeta a sociedade de várias maneiras: utilização de maiores coeficientes de segurança, necessidade de manutenção preventiva (por exemplo, pintura), utilização de materiais mais “nobres” e caros (por exemplo, ouro e prata), parada temporária da utilização do equipamento ou da estrutura, contaminação de produto, perda de eficiência, perda de credibilidade e até mesmo troca de tubulações por policloreto de polivinila (popularmente denominado pela sigla do termo em inglês PVC) (VAGHETTI, 2005; BEROLINI, 2010; CARVALHO, 2014; PIMENTA, 2016).

Ela pode ocorrer através de diferentes formas, e sua classificação pode ser feita através da aparência do metal corroído. As formas mais comuns de corrosão que acometem o aço são: a corrosão uniforme, a corrosão a corrosão galvânica, a corrosão por frestas e a corrosão por pites; esta última menos comum, mas não menos importante (WOLYNEC, 2003).

O ataque uniformemente distribuído, ou corrosão uniforme, é relatado pela bibliografia como a forma mais comum de corrosão. Ela se distribui por grandes áreas da superfície metálica e a velocidade de sua evolução pode ser estimada devido a sua uniformidade (PIMENTA, 2016).

A corrosão galvânica pode ocorrer quando dois metais diferentes são expostos a uma solução condutora de eletricidade, ou seja, conectados por um condutor elétrico. Uma diferença de potencial elétrico existente entre diferentes metais ou ligas acaba por fornecer o

potencial termodinâmico necessário ao processo de corrosão (VAGHETTI, 2005; PIMENTA, 2016).

As condições ambientais dentro de uma fresta com o tempo podem tornar-se muito diferentes daquelas encontradas em uma superfície próxima, limpa e exposta ao ambiente externo. Um ambiente muito mais agressivo pode se desenvolver e causar a corrosão localizada no interior da fresta. Frestas acontecem, por exemplo, em parafusos, pontos de solda descontínua e rebites (VAGHETTI, 2005; PIMENTA, 2016).

A corrosão por pites é uma forma de corrosão onde o desgaste se dá de forma muito localizada e intensa, geralmente com profundidade maior que o diâmetro e bordos angulosos. Ela é frequente em metais formadores de películas protetoras, em geral, passivas que, sob a ação de certos agentes agressivos, são destruídas em pontos localizados, os quais se tornam ativos, possibilitando corrosão muito intensa. Exemplo comum é representado pelos aços inoxidáveis austeníticos em meios que contêm cloretos (GIRÃO, 2008; PIMENTA, 2016).

Grande parte das ocorrências de corrosão envolve reações eletroquímicas. Os fenômenos de corrosão de metais envolvem uma grande variedade de mecanismos que podem ser reunidos em quatro grupos, a saber: corrosão em meios aquosos (90%), oxidação e corrosão quente (8%), corrosão em meios orgânicos (1,8%) e corrosão por metais líquidos (0,2%), destacadas a incidência em cada um dos tipos de corrosão. Nota-se que a corrosão em meios aquosos é a mais comum, uma vez que a maioria dos fenômenos de corrosão ocorre no meio ambiente, onde a água é o principal solvente. A própria corrosão atmosférica, uma forma de corrosão generalizada de grande incidência, ocorre através da condensação da umidade na superfície do metal (VAGHETTI, 2005; BEROLINI, 2010; CARVALHO, 2014; PIMENTA, 2016).

O aço é utilizado em pontes, viadutos, elevadores, em tubulações, revestimentos, acabamentos e em coberturas, além de ser uma liga ferro-carbono contendo menos de 2% de carbono e pequenas quantidades de outros elementos químicos tais como o manganês, silício, fósforo, enxofre e oxigênio. O elemento carbono no aço influencia nas suas propriedades mecânicas e transformações de fase, por causa das ligações químicas. Esta liga é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas conhecidas (CHIAVERINI, 1982).

Os metais raramente são encontrados no estado puro, quase sempre são encontrados em combinação com um ou mais elementos não metálicos presentes no ambiente. O minério é uma forma oxidada do metal de modo geral. Quantidades significativas de energia devem ser fornecidas aos minérios para reduzi-los aos metais puros.

A passagem de corrente elétrica através de uma distância finita maior do que a distância interatômica, envolve o movimento de partículas carregadas (íons e elétrons) no aço.

Dessa forma, na maioria das reações que se manifestam em uma superfície metálica, são eletroquímicas por natureza. Esta natureza da corrosão em meio aquoso foi confirmada, de forma inquestionável, na década de 20 (EVANS, 1923).

Uma das experiências clássicas, que ilustra de forma bem clara as reações eletroquímicas envolvidas no processo de corrosão do aço, é a da gota salina ou câmara salina. (PANNONI, 2007). A experiência de câmara salina (também conhecida pelo termo em inglês "Salt Spray") permite avaliar o consumo de oxigênio pela reação catódica, ou seja, a dissolução do oxigênio na gota, o transporte do oxigênio através da solução por difusão e convecção (WOLYNEC, 2003). O processo de corrosão atmosférica do aço consiste em elétrons fluindo dentro do metal e íons fluindo no eletrólito superficial. A velocidade de corrosão é muito influenciada pela condutividade elétrica do eletrólito, sendo menor para meios pouco condutores, como a água muito pura, e maior para meios muito condutores, como por exemplo, a água do mar ou soluções ácidas (FONSECA; DJANIKIAN, 1998). A existência de diferentes composições químicas, diferentes microestruturas, diferentes concentrações, diferentes velocidades, diferentes tensões residuais, dentre outras, determinam a formação de regiões catódicas ou anódicas. Um ponto fundamental que deve ser ressaltado: para que a corrosão atmosférica do aço carbono aconteça, é necessária a presença simultânea de água e oxigênio. A ausência de um deles inviabiliza a corrosão (ATANÁZIO, 2006).

Os revestimentos metálicos servem para atribuir maior resistência ao processo corrosivo dos aços, além de apresentar também finalidade decorativa, função elétrica e endurecimento superficial. Na utilização de metais nos revestimentos anticorrosivos, a ação protetora se explica pela formação de películas protetoras de óxidos, hidróxidos e outros compostos que reagem com os oxidantes do meio corrosivo, desde que ocorram formações de óxidos aderentes. Os mais comuns são o alumínio, o cromo, o níquel e o zinco. O chumbo, o estanho, o zinco e o cádmio, são resistentes aos ácidos em meio não aerado (MAINIER, 2004). Existem registros (NATHAN, 1973) que documentam, no início do século XX, o uso de misturas de melaços, amidos e óleos vegetais na proteção de peças de aço-carbono após a decapagem ácida.

Tradicionalmente o concreto armado é considerado um material durável e indispensável na construção civil. Suas armaduras, que no geral são de aço, se encontram num ambiente naturalmente protegido contra a corrosão. Essa situação explica a causa das pesquisas sobre a corrosão e patologias em geral. Se a corrosão é a deterioração de um material por meio de reações químicas ou eletroquímicas com o meio em que se encontra podendo ou não haver uma associação de esforços mecânicos, então, o aço de um concreto armado de uma construção civil, pode ser um contratempo (BEROLINI, 2010).

A elevada alcalinidade da solução aquosa dos poros do concreto favorece a formação e manutenção de um filme de óxido (aderente à superfície do aço), que evita a dissolução anódica dos íons ferrosos e, portanto, passiva o aço. São necessários quatro componentes para uma célula eletroquímica, ou célula de corrosão, se formar: um anodo, um cátodo, um condutor metálico e um eletrólito.

A corrosão muitas vezes não é detectável por inspeção visual apenas. Com a análise e qualificação da oxidação no aço é possível prevenir o fenômeno e, portanto, aperfeiçoar recursos financeiros que seriam aplicados em manutenções ou até permutação dos materiais atacados. Se não detectada, em um determinado momento, a oxidação vai enfraquecer as paredes e, possivelmente, levar a falhas estruturais perigosas.

No âmbito acadêmico, a questão corrosão é pouco estudada se comparado à repercussão que pode trazer como consequência. Ela está intimamente presente na construção civil, como foi exposto até agora. Ela pode reduzir a capacidade de carga de um componente pela redução do seu tamanho (seção transversal) ou por ataque localizado (GIRÃO, 2008) que além de reduzir a seção transversal na região atacada pode aumentar a tensão iniciando a formação de trincas. Identificar o tempo que leva a corrosão no aço em condições específicas, identificar fatores que influenciam no fenômeno e avaliar se há alguma forma de minimizar o evento, são objetivos buscados nesta pesquisa sobre a corrosão (GOMES, 2014). Existem três tipos de aço conhecidos muito utilizados na construção civil, sendo eles CA-25, CA-50 e CA-60, atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações, sendo eles os aços estudados nesta pesquisa.

## **2.1 LIMITES DE ESCOAMENTO DOS AÇOS CA-25, CA-50 E CA-60**

Os aços de dureza natural são aços laminados a quente e não sofrem tratamento algum após a laminação. Em geral, são caracterizados pela presença no diagrama tensão x deformação de um acentuado patamar de escoamento e grandes deformações de ruptura.

Suas características elásticas são alcançadas pela composição química adequada com o carbono, manganês, silício e cromo (BASTOS, 2006).

Figura 1 - Aços de dureza natural - CA-25 e CA-50.

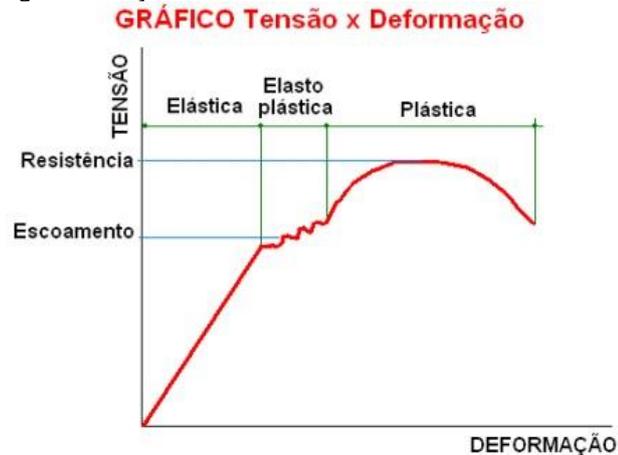
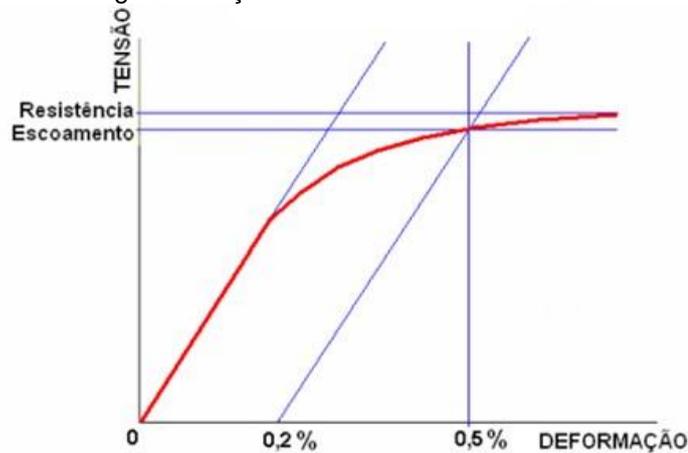


Figura 2 - Aços encruados "a frio" - CA-60



Diferente dos aços de dureza natural, os aços encruados “a frio” apresentam maior resistência mecânica e menor tenacidade, uma vez que sofrem os três processos do encruamento, a saber: trefilação, tração e compressão. O encruamento do CA-25 o transforma no aço CA-60.

No caso do CA-60 e CA-25 sua composição química atende plenamente os requisitos de soldabilidade, logo são considerados aços soldáveis sem a necessidade de tratamento térmico, que é utilizado no processo de fabricação do CA-50 (DE ALMENDRA FREITAS JR., 2013).

### 3 METODOLOGIA

O objetivo deste estudo foi verificar a resistência à corrosão de três diferentes tipos de aço utilizados na construção civil: o CA25, CA50 e CA-60 e também avaliar o acondicionamento mediante a possibilidade de corrosão, o seu comportamento em

determinados ambientes e o tempo para uma determinada ocorrência de corrosão. A importância deste estudo deve-se ao fato de que no Brasil, a proteção dos vergalhões de aço contra a corrosão ainda é pouco difundida, uma vez que existe uma visão de curto prazo na relação custo inicial e durabilidade das obras.

Neste trabalho foram realizados ensaios experimentais cujo objetivo foi verificar a resistência à corrosão dos aços carbonos CA-25, CA-50 e CA-60. Para estes ensaios experimentais, foi realizada, inicialmente, uma revisão bibliográfica inicial que tem por finalidade ajudar no planejamento desses ensaios.

Foi utilizado o método de pesquisa qualitativa com ênfase ao modelo empírico (baseado na observação sensorial durante os ensaios experimentais) seguido da enumeração dos enunciados sobre os fenômenos observados e da comparação dos resultados obtidos com a literatura existente, o que amplia a qualidade do trabalho científico. Os corpos-de-prova foram submetidos à imersão, em solução de NaCl com secagem. Os ensaios de laboratório foram realizados nas dependências dos laboratórios da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

No âmbito da análise de dados foi utilizada a modalidade de análise de adequação ao padrão, que propõe comparar padrões obtidos empiricamente com padrões previstos na literatura; se os padrões coincidem, os resultados ajudam a aumentar a sua validade. Dessa forma realizou-se uma descrição dos ensaios de laboratório e posterior comparação dos dados coletados com os pressupostos teóricos a partir de livros e artigos de bases de dados como as citadas a seguir: ISI/Web of Knowledge/Thomson Reuters, Science Direct, IEEE Transaction, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Elsevier Journals, Wiley online library, periódicos CAPES, dentre outras.

### **3.1 PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS**

Nas subseções abaixo estará explicitada a preparação dos corpos-de-prova e dos recipientes utilizados no ensaio de imersão e de exposição atmosférica.

#### **3.1.1 Corpos-de-prova**

Os corpos-de-prova foram escolhidos e preparados de acordo com a tabela 1 abaixo.

Quadro 1 - Características gerais das amostras.

TIPO	CA-25	CA-50	CA-60
QUANTIDADE (unidade)	10	10	10
DIÂMETRO NOMINAL (mm) (polegadas)	12,5 (1/2")	12,5 (1/2")	4,6 (3/6")
COMPRIMENTO (mm)	145	145	145
ÁREA DASEÇÃO (mm <sup>2</sup> )	122,7	122,7	16,6
SUPERFÍCIE	LISA	NERVURADA	NERVURADA
MASSA NOMINAL (kg/m)	0,963	0,963	0,13
LIMITE DE ESCOAMENTO (kgf/mm <sup>2</sup> )	25	50	60

Fonte: ABNT NBR 7480:2007 e acervo pessoal.

O valor de massa nominal, diâmetro nominal e área da seção das barras contidos no Quadro 1 acima foram obtidos de acordo com a norma técnica ABNT 7480:2007. A massa específica dos três tipos de aço é de 7850 kg/m<sup>3</sup>; este valor está de acordo com o valor teórico da bibliografia. A mesma norma especifica que barras são produtos obtidos por Laminação a Quente. Portanto, os aços CA-25 e CA-50 são denominados barras. Os fios são produtos obtidos por trefilação ou laminação a frio, logo, todo CA-60 é denominado fio.

Figura 3 - Fotos dos vergalhões CA-25 e CA-50 e do fio CA-60.



Fonte: [www.mktarcelormittal.com.br](http://www.mktarcelormittal.com.br).<sup>1</sup>

### 3.1.2 Limpeza dos materiais

Foram cortados, ao todo, trinta corpos-de-prova: dez unidades de CA-25, dez unidades de CA-50 e dez unidades de CA-60. Todos apresentaram 145 mm de comprimento.

A limpeza dos corpos-de-prova foi realizada com escova de aço seguida de imersão dos corpos em solução de ácido clorídrico 1:1 (CASCUDO, 2011; HELENE, 1993).

<sup>1</sup> A empresa ArcelorMittal S.A. não permitiu a divulgação de seu nome.

A limpeza dos recipientes, utilizados para colocar a solução junto com as amostras, foi feita conforme procedimentos rotineiros de laboratório químicos, isto é, com sabão neutro seguido de três enxágues de água deionizada.

Figura 4 - Limpeza dos recipientes utilizados no ensaio de imersão.



Fonte: Acervo pessoal.

### 3.2 ENSAIO DE EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICO

A posição dos corpos-de-prova escolhida para o ensaio de exposição atmosférica foi a posição horizontal em um suporte onde não foi denotado ajuntamento de água. (ASSIS, 2014) Foi realizado o ensaio de tempo total de três meses de exposição (MANDELLI, 2002).

O recipiente em que foram colocadas estas amostras foi colocado no estacionamento do 2º subsolo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, São Paulo.

Figura 5 - Amostras duplicatas: ensaio de exposição atmosférica de tempo de três meses.



Fonte: Acervo pessoal.

### 3.3 ENSAIO DE IMERSÃO PARCIAL

Para o ensaio de imersão parcial foi utilizado solução de cloreto de sódio 5%; onde o volume utilizado foi suficiente para imergir 1/3 da altura dos corpos-de-prova. (CASCUDO and HELENE, 2001). Em busca de melhores resultados, foram utilizadas duplicatas de cada corpo-de-prova nos ensaios, para que fossem feitas médias ponderadas dos resultados.

Primeiramente foram imersas as amostras de tempo de três meses e dois meses de imersão. Em segundo instante foram retiradas as amostras de tempo de dois meses de imersão. De imediato foram imergidas as amostras de tempo de um mês de imersão. Em último momento foram retiradas as amostras de um mês e de três meses de imersão.

Figura 6 - Amostras de dois meses e três meses imersas na solução NaCl.



Fonte: Acervo pessoal.

Após o tempo pré-determinado do ensaio de imersão (um, dois e três meses), as amostras foram retiradas da solução. Abaixo está um exemplo dos corpos-de-prova que foram submetidos a tempo de ataque de dois meses (Figura 6).

Figura 7 - Amostras referente a dois meses na solução NaCl.



Fonte: Acervo pessoal.

Inicialmente, os filtros escolhidos para a filtração da solução NaCl + RESÍDUO DE CORROSÃO foram pesados da balança de precisão do laboratório. Em seguida, foi feita a filtração da solução citada (Figura 7).

Figura 8 - Filtração do resíduo de corrosão do aço CA-50 - tempo de três meses.



Fonte: Acervo pessoal.

Após o processo de filtração a vácuo, os filtros foram levados à estufa durante um tempo de 4 horas em uma temperatura constante de 100°C. Observação: Temperatura previamente estabilizada.

Figura 9 - Filtros com resíduo de corrosão das duplicatas de tempo de três meses



Fonte: Acervo pessoal.

Por último, foram pesados os filtros manchados secos (Figura 8). A análise do resíduo de corrosão de cada duplicata foi feita de forma a conseguir apresentar o gráfico da Figura 9, onde este resultado oferece a possibilidade de se conhecer como o aço CA-25, o aço CA-50 e o aço CA-60 resistem à oxidação forçada.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os corpos-de-prova foram analisados após os dois ensaios.

#### 4.1 ANÁLISE DOS DADOS DO “ENSAIO DE IMERSÃO SOLUÇÃO NaCl”

Os dados adquiridos no ensaio de imersão são apresentados abaixo.

Na Tabela 1 está contido o valor das massas dos corpos-de-prova obtido antes e depois do ataque com a solução NaCl durante o tempo de um mês, onde pode-se perceber que as amostras perderam massa por causa da oxidação. Além disso, são exibidos os valores do resíduo de corrosão de cada amostra obtidos com a filtração da solução NaCl após um mês de ensaio.

Tabela 1 - Resultado ensaio de imersão tempo de um mês.

	MASSA CP(g)		MASSA CORROSÃO (g)		
	Antes da Corrosão	Após Corrosão	Filtro	Filtro+Corrosão	Resíduo Corrosão
I.CA50.1.1	132,9367	133,2496	1,1833	1,4585	0,2752
I.CA50.1.2	121,6418	121,629	1,159	1,3995	0,2405
I.CA25.1.1	126,9045	147,0178	1,148	1,4094	0,2614
I.CA25.1.2	127,3685	127,6578	1,1305	1,3416	0,2111
I.CA60.1.1	22,4843	22,4008	1,1772	1,3048	0,1276
I.CA60.1.2	22,6205	22,488	1,1409	1,2528	0,1119

Fonte: Acervo pessoal.

Na Tabela 2 está contido o valor das massas dos corpos-de-prova obtido antes e depois do ataque com a solução NaCl, durante o tempo de dois meses, onde pode-se perceber que as amostras perderam mais massa, quando comparado a Tabela 2, por causa da oxidação. Além disso, são exibidos os valores do resíduo de corrosão de cada amostra obtidos com a filtração da solução NaCl após dois meses de ensaio.

Tabela 2 - Resultado Ensaio de Imersão Tempo de dois meses.

	Massa (g) CP antes da corrosão	Massa (g) CP após corrosão	Massa (g): filtro	Massa (g): filtro+corrosão	Massa (g): resíduo da corrosão
I.CA50.2.1	131,9666	128,157	1,16	1,7984	0,6384
I.CA50.2.2	125,248	119,78	1,13	1,7076	0,5776
I.CA25.2.1	127,2782	127,521	1,16	1,8589	0,6989
I.CA25.2.2	115,4807	113,241	1,15	1,8019	0,6519
I.CA60.2.1	23,2305	22,45	1,1	1,4029	0,3029
I.CA60.2.2	23,1237	22,069	1,12	1,4068	0,2868

Fonte: Acervo pessoal.

Na Tabela 3 está contido o valor das massas dos corpos-de-prova obtido antes e depois do ataque com a solução NaCl, durante o tempo de três meses, onde pode-se perceber que as amostras perderam mais massa, quando comparado a Tabela 3, por causa da oxidação. Além disso, são exibidos os valores do resíduo de corrosão de cada amostra obtidos com a filtração da solução NaCl após três meses de ensaio.

Tabela 3 - Resultado ensaio de imersão tempo de três meses.

	MASSA CP(g)			MASSA CORROSÃO (g)	
	Antes da Corrosão	Após Corrosão	Filtro	Filtro+Corrosão	Resíduo Corrosão
I.CA50.3.1	131,9666	130,426	1,1969	2,2177	1,0208
I.CA50.3.2	125,2782	121,254	1, 84	2,239	1,055
I.CA25.3.1	115,4807	124,693	1,1348	2,2007	1,0659
I.CA25.3.2	127,2782	125,767	1,1142	2,0131	0,8989
I.CA60.3.1	23,2305	22,634	1,1912	1,6708	0,4796
I.CA60.3.2	23,1237	21,53	1,2365	1,6067	0,3402

Fonte: Acervo pessoal.

Na Tabela 4 são expostas as amostra e resíduos de corrosão ao longo de três meses para análise. Pode-se perceber que o resíduo de corrosão adquirido através da oxidação do aço na solução NaCl aumenta ao longo do tempo.

Tabela 4 – Resíduos de corrosão das 18 amostras.

1 MÊS		2 MESES		3 MESES	
AMOSTRAS	RESÍDUO	AMOSTRAS	RESÍDUO	AMOSTRAS	RESÍDUO
I.CA50.1.1	0,2752	I.CA50.2.1	0,6384	I.CA50.3.1	1,0208
I.CA50.1.2	0,2405	I.CA50.2.2	0,5776	I.CA50.3.2	1,055
I.CA25.1.1	0,2614	I.CA25.2.1	0,6989	I.CA25.3.1	1,0659
I.CA25.1.2	0,2111	I.CA25.2.2	0,6519	I.CA25.3.2	0,8989
I.CA60.1.1	0,1276	I.CA60.2.1	0,3029	I.CA60.3.1	0,4796
I.CA60.1.2	0,1119	I.CA60.2.2	0,2868	I.CA60.3.2	0,3402

Fonte: Acervo pessoal.

Na Tabela 5 têm-se os dados para o gráfico da Figura 9, onde se encontram valores médios do resíduo de corrosão das duplicatas referentes a seu tempo de imersão.

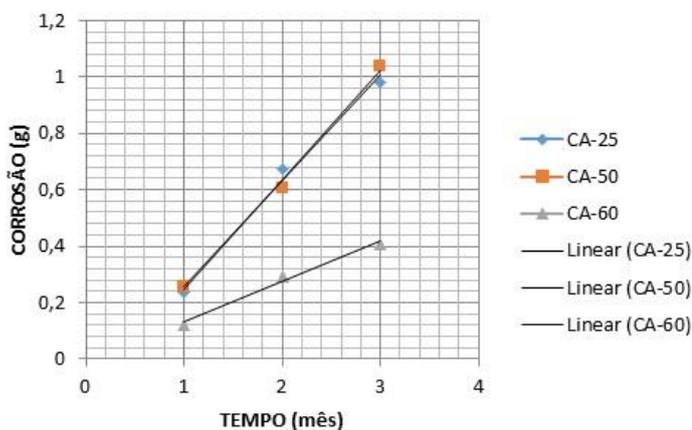
Tabela 5 - Tabela referente ao gráfico da Figura 9.

TEMPO (mês)	1		2		3	
	PERDA DE MASSA (RESÍDUO DE CORROSÃO NO FILTRO)					
CA-25	0,2614	0,2111	0,6989	0,6519	1,0659	0,8989
MÉDIAS	0,23625		0,6754		0,9824	
CA-50	0,2752	0,2405	0,6384	0,5776	1,0208	1,055
MÉDIAS	0,25785		0,608		1,0379	
CA-60	0,1276	0,1119	0,3029	0,2868	0,4796	0,3402
MÉDIAS	0,11975		0,29485		0,4099	

Fonte: Acervo pessoal.

Abaixo, na Figura 9, tem-se o gráfico comparando os três aços (CA-25, CA-50 e CA60) nos três meses de imersão.

Figura 10 - Gráfico resultado final corrosão x tempo.



Fonte: Acervo pessoal.

É possível observar que a quantidade de resíduo de corrosão no tempo de três meses do aço CA-50 é maior do que do aço CA-25 e CA-60 porque, apesar de apresentar o diâmetro do mesmo tamanho do CA-25, ele dispõe de ranhuras o que, superficialmente, aumenta a quantidade de massa que é imersa na solução de aceleração da corrosão.

Na Figura 11 pode-se observar a aparência da amostra que ficou imersa durante três meses na solução NaCl do ensaio por imersão. No local onde a amostra teve contato direto com a solução (1/3 da altura da amostra) aconteceu uma corrosão por esfoliação de cor escura, diferente da parte da amostra que não entrou em contato com a solução, onde se apresentou uma corrosão uniforme de cor alaranjada.

Figura 11 Amostra CA-50 após ensaio de imersão na solução NaCl durante três meses.



Fonte: Acervo pessoal.

## 4.2 ANÁLISE DOS DADOS DO EXPERIMENTO DE CORROSÃO POR EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os dados adquiridos com o ensaio de exposição estão apresentados abaixo. Na Tabela 6 pode-se observar a massa das amostras antes e após a exposição atmosférica.

Tabela 6 – Dados do experimento de exposição atmosférica durante três meses.

MASSA CPs BRANCOS (g)		MASSA CPs APÓS TRÊS MESES EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA	
CA50.1	125,2484	E.CA50.1	125,093
CA50.2	131,9666	E.CA50.2	132,205
CA25.1	115,4807	E.CA25.1	127,502
CA25.2	127,2782	E.CA25.2	115,702
CA60.1	23,1237	E.CA60.1	23,12
CA60.2	23,2305	E.CA60.2	23,33

Fonte: Acervo pessoal.

Assim como ocorre nos canteiros-de-obra, a superfície da amostra (Figura 13) se modificou de forma natural, apresentando uma corrosão uniforme por causa da interação da umidade do ar com o oxigênio após três meses exposta.

Figura 12 - Amostra de CA-50 após três meses no ensaio de exposição atmosférica.



Fonte: Acervo pessoal.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do comportamento dos materiais pesquisados no presente trabalho é uma das chaves para a diminuição do desperdício, para a escolha certa do material para um determinado destino, para o conhecimento do que o material precisa ser protegido e para conhecer de que forma ele precisa ser estocado nos canteiros de obras.

Os três tipos de aço pesquisados nessa pesquisa apresentam o potencial de corrosão quando submetidos à presença de água e oxigênio, de tal forma que quando foram colocados na solução NaCl a corrosão foi acelerada. Portanto, quando os canteiros de obras dispuserem desses materiais são necessários o cuidado com a umidade presente no ar, com a exposição à água salina presente no ar de cidades litorâneas, cautela com a exposição ao sol e chuva e cuidado com a relação água/cimento como citado no referencial teórico.

A proteção dos vergalhões de aço contra a corrosão ainda é pouco difundida, uma vez que existe uma visão de curto prazo na relação custo inicial e durabilidade das obras. Conhecer uma melhor forma de lidar com a presença desses materiais nos canteiros-deobra possibilita menos desperdício e menos gastos nos projetos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ATANÁZIO, N. do N. **Estudo da influência do meio corrosivo na resistência à fadiga do aço estrutural SAE 8620**. 2006.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.
- BEROLINI, L. **Materiais de Construção: patologia / reabilitação / prevenção**. Brasil: tradução Leda Maria Dias Beck, 2010.
- CARVALHO, L. G. de S. **Resistência à corrosão dos aços CA24 e CA50 frente à ação dos cloretos**. 2014.
- CASCUDO, O.; HELENE, PRL. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.
- CHIAVERINI, V. **Aço e Ferros Fundidos**. São Paulo: ABM–Associação Brasileira de Metais, p. 321-358, 1982.
- DE ALMENDRA FREITAS JR, José. **ALVENARIA ESTRUTURAL**. 2013.
- EVANS, U. R. **The metal industry**. 1926.

FONSECA, R. L. M.; DJANIKIAN, J. G. **Inibidores de Corrosão–Influência nas Propriedades do Concreto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil, São Paulo, 1998.

GIRÃO, I. F. **CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO POR PITE DO AÇO UNS S31803 APÓS SOLDAGEM**. Projeto de pesquisa orientado pelo Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco, Centro de Desenvolvimento de Materiais Metálicos (CDMatM) – Departamento de Engenharia Mecânica Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros (FEI), São Bernardo do Campo, 2008.

MAINIER, F. B. **As Formulações Inibidoras de Corrosão e o Meio Ambiente**. Engevista, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 106-112, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR, ABNT. 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado–Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Gerdau Açominas, 2004.

PANNONI, F. D. **Fundamentos da corrosão**. Proteção Estrutural Aço Minas AS, disponível conforme o endereço eletrônico apresentado a seguir [www.gerdau.com.br/gerdauacominas/upload/produtos/perfis/caracteristicatecnicapf/artigostecnico/Fundamentos\\_da\\_corrosao.pdf](http://www.gerdau.com.br/gerdauacominas/upload/produtos/perfis/caracteristicatecnicapf/artigostecnico/Fundamentos_da_corrosao.pdf), 2007.

PIMENTA, G. d. S. **Corrosão: uma abordagem geral**. São Paulo, 2016. Disponível em: < [http://www.iope.com.br/3i\\_corrosao\\_2.php](http://www.iope.com.br/3i_corrosao_2.php) >. Acesso em: 27/04/2016.

VAGHETTI, M. A. O. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais**. 2005. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. Vol. 49. Edusp, 2003.

**Contatos:** sarinhabhenrique@gmail.com, massaki.igarashi@mackenzie.br