



AVALIAÇÃO DE DIFERENTES CIMENTOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS À CORROSÃO

CASTRO, Wilamy Valadares de (1); CERQUEIRA, Gustavo Corrêa (2); SILVA, Maykon Vieira (3); SOUSA, Talita Gomes Oliveira (4); SABOIA, Hugo Ximenes (5)

- (1) Universidade Católica de Brasília, wilamycastro1@gmail.com
(2) Universidade Católica de Brasília, gustavo.c.cerqueira@hotmail.com
(3) Universidade Católica de Brasília, eng.maykonsilva@gmail.com
(4) Universidade Católica de Brasília, talita.tgos@gmail.com
(5) Universidade Católica de Brasília, hugo.saboia@gmail.com

RESUMO

A norma ASTM-C-876 verifica a probabilidade de corrosão em seções de concreto armado, através de uma diferença de potencial exercida sob uma meia célula com barra de cobre maciça imersa em meio aquoso com sulfato de cobre. Tais seções são prisma retangulares confeccionados com maior teor de porosidade, intencionalmente para acelerar o processo de corrosão. O meio agressivo criado ocorreu por cloretos, especificamente, através desses ciclos acelerados de corrosão, imersão em solução aquosa de cloreto de sódio e secagem em estufa. Os cimentos utilizados para os ensaios foram o Cimento Portland Composto com Fíler (CP II - F), Cimento Portland Alta Resistência Inicial (CP V), e Cimento Portland Alta Resistência Inicial Ultra (CP V - Ultra). Constatou-se que após os primeiros ciclos, as peças fabricadas com o cimento com adição de fíler apresentaram resultados mais rápidos para corrosão devido maior presença de materiais carbonáticos na sua constituição, evidenciando que este cimento não seria o mais indicado para aplicação em ambientes muito agressivos.

Palavras-chave: Diferentes Cimentos, Potencial de Corrosão, Ambiente Agressivo.

ABSTRACT

ASTM-C-876 verifies the probability of corrosion in reinforced concrete sections by a potential difference exerted under a solid copper bar half-cell immersed in copper sulfate aqueous medium. Such sections are rectangular prisms made with higher porosity, intentionally to accelerate the corrosion process. The aggressive medium created by chlorides, specifically through those accelerated cycles of corrosion, immersion in aqueous sodium chloride solution and kiln drying. The cements used for the tests were: Filler Composite Portland Cement (TYPE I), Portland Cement High Early Strength (TYPE III), and Portland Cement High early Strength Ultra (TYPE III - ULTRA). It was found that after the first cycles, the pieces made with the cement with the addition of filler showed faster results for corrosion due to the greater presence of carbonate materials in its constitution, evidencing that this cement would not be the most suitable for application in very aggressive environments.

Keywords: Different Cements, Corrosion Potential, Aggressive Environment.

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, onde a cultura de manutenção em edificações está cada vez mais em evidência, juntamente com a questão de durabilidade exigida pela NBR 15575 (2013), têm feito com que os

profissionais da área passem a ter uma visão sistêmica a respeito dos processos de deterioração evidenciando suas causas, acompanhando seu progresso e buscando por soluções viáveis.

Segundo Mehta e Monteiro, deve-se haver um melhor entendimento do conceito de durabilidade nos empreendimentos, pois o custo de reparo dessas estruturas tornou-se uma parte substancial do orçamento total da construção.

Existem diversos fatores que podem deteriorar uma estrutura de concreto, segundo Mehta et al. dentre eles estão fatores físicos e químicos que podem trazer fissuras ao concreto, o que possibilita um contato entre a armadura e o meio externo, isto é, aumenta a permeabilidade e os agentes agressivos entram com mais facilidade ao interior da peça.

Desde 1930, segundo Mehta e Monteiro, a produção de Cimento Portland procura reduzir a dimensão dos grãos afim de desenvolver a resistência inicial de concretos. Porém esse tipo de concreto fica mais suscetível a apresentar fissuras por efeitos térmicos devido ao maior calor de hidratação. Sendo esta apenas uma causa de fissuração.

Tomando como base o contexto em que a manutenção de edificações se tornou um problema evidente, pois diversas dessas edificações estão no limite ou já chegaram ao fim de sua vida útil e o cuidado enquanto a manutenção em sua vida residual. Em que muitas vezes, ao longo da solicitação da estrutura, isto é, seu tipo de uso, demanda cuidados. Estes cuidados a serem analisados neste trabalho, são voltados a análise da presença de corrosão nas armaduras das peças estruturais em concreto armado. Uma vez que, de forma geral, segundo Mehta, a transformação do ferro metálico em ferrugem é acompanhada por um aumento de volume, que pode vir a ser da ordem de 600% com relação ao metal original, dessa forma causando a fissuração do concreto.

O trabalho objetiva analisar a presença de corrosão em peças de concreto que simulam as estruturas das edificações, por meio da norma americana ASTM C-876 (2015), utilizando diferentes tipos de cimento nas peças prismáticas retangulares. Com finalidade de aferir a influência do tipo de aglomerante cimentício na presença de um processo corrosivo, pois cada tipo utilizado confere ao concreto um pH e poros de tamanhos diferentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cimento Portland

Segundo a norma brasileira NBR 16697 (2018), o cimento portland composto é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a

quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.

Sendo classificado, segundo o item 1.: Escopo da Norma Americana ASTM C-150 – Standard Specification for Portland Cement, como:

Tipo I. Utilizado quando não se exigem propriedades especiais especificadas para qualquer outro tipo. Não há limites impostos para nenhum dos quatro compostos principais (C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF).

Tipo IA. Cimento Tipo I com incorporador de ar, quando o incorporador de ar é necessário.

Tipo II. Para uso geral, especialmente quando resistência moderada ao sulfato é necessária ou um moderado calor de hidratação é necessário.

Tipo IIA. Cimento Tipo II com incorporador de ar, quando o incorporador de ar é necessário.

Tipo III. Utilizado quando é necessária alta resistência inicial.

Tipo IIIA. Cimento Tipo III com incorporador de ar, quando o incorporador de ar é necessário.

Tipo IV. Usado quando é necessário baixo calor de hidratação.

Tipo V. Usado quando é necessária alta resistência a sulfato.

2.2 Agressividade do Ambiente

Segundo a norma brasileira NBR 6118 (2014), a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Isto é, como o meio irá influenciar na deterioração dessa estrutura de concreto, podendo-se referir a condições climáticas, risco de deterioração, classificação geral do tipo de ambiente.

Tabela 1 – Classes de Agressividade Ambiental

CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL			
Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de Deterioração da Estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de Maré	

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

2.3 Corrosão do Aço de Armadura do Concreto

Para que se dê início ao processo corrosivo nas barras de aço do concreto armado, é necessário ressaltar que:

“A reação anódica envolvendo a ionização do ferro metálico não progride sem que haja um fluxo de elétrons no sentido do cátodo, que é mantido por meio do consumo de elétrons na região catódica. Dessa maneira, para o processo catódico, a presença de tanto do ar como da água na superfície do cátodo é absolutamente necessária. Os produtos de ferro comum e de aço normalmente são cobertos por uma fina película de óxido de ferro, que se torna impermeável e fortemente aderente à superfície do aço em um meio alcalino, o que faz do aço um material passivo no tocante à corrosão. Isso significa que o ferro metálico não estará disponível para a reação anódica até a passividade do aço tenha sido destruída.” (MEHTA, 2008, p.179)

3 METODOLOGIA

3.1 Preparação e Limpeza das barras de Aço

A confecção dos corpos de provas a serem utilizadas nos ensaios iniciou com a preparação e limpeza das barras de aço que seriam inseridas no concreto. As barras de aço CA-50 foram submetidas a um processo de limpeza para remover qualquer produto de corrosão existente em sua superfície e garantir uma condição inicial padronizada entre todas as barras.

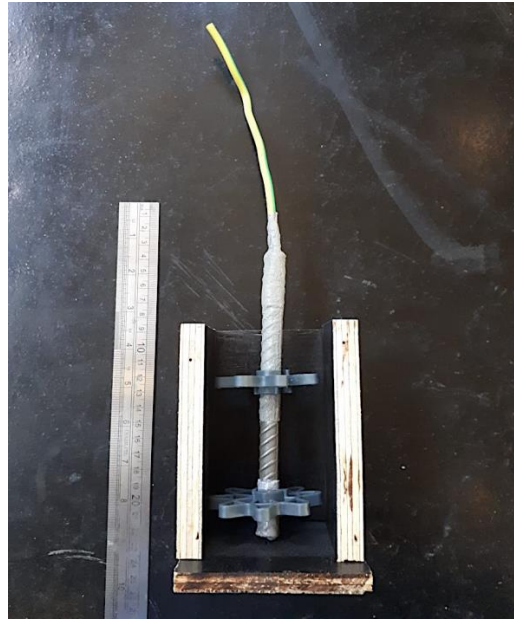
A limpeza se deu conforme as prescrições da norma ASTM G1-03 (2011), onde inicialmente as barras de aço foram imersas em solução de ácido clorídrico 1:1 com 3,5 g/L de hexametenotetramina por quinze minutos e, após esse período, foi realizada a lavagem das barras com água em abundância e limpeza com escova de cerdas de aço. Em seguida as barras foram imersas em acetona e logo em seguida secas com ar quente. Por fim, as barras foram pintadas com resina epóxi, deixando apenas uma faixa de exposição de 30 mm para o ataque do agente agressivo. Na figura 1 temos o esquema do posicionamento dessas barras já finalizadas no interior dos corpos de prova.

3.2 Confecção dos Corpos de Prova de Concreto Armado

Para esse estudo foram moldados 15 corpos de prova prismáticos de concreto armado para realização dos testes de corrosão, sendo 5 corpos de prova para cada tipo de cimento. Os cimentos utilizados para os ensaios foram o Cimento Portland Composto com Filer (CP II - F), representado pela figura 2, Cimento Portland Alta Resistência Inicial (CP V - ARI), e Cimento Portland Alta Resistência Inicial Ultra (CP V - Ultra). Em cada corpo de prova foi inserida uma barra de aço de 10 mm de

diâmetro, posicionada com espessura de cobertura de 30 mm com auxílio de espaçadores. O traço (relação cimento: agregados) em massa empregado foi o de 1:3 e relação a/c de 0,80. Para o preenchimento das formas, a moldagem se deu por duas camadas de 12 golpes em cada, para um melhor adensamento. Após a confecção dos corpos de prova, esses foram submetidos a cura submersa por um período de 28 dias.

Figura 1 – Esquema de posicionamento das barras de aço



Fonte: (AUTOR,2019)

Figura 2 – Corpos de prova prismáticos com cimento CP II - F



Fonte: (AUTOR,2019)

3.3 Ensaio acelerado de corrosão induzido por cloreto

Para agilizar a obtenção de dados foi adotado o método de aceleração da corrosão das armaduras proposto por Cabral (2000), por meio de ciclos de umedecimento e secagem. Esse método consistiu em duas etapas: a primeira seria a fase de umedecimento onde os corpos de prova eram imersos parcialmente por 3 dias em solução de água com sal (NaCl) na proporção de 3,5% de cloreto de sódio (NaCl), salinidade essa baseada nos dados de Aquarius (NASA, 2015), que mostram salinidades entre 30 e 40 gramas/quilograma de água, com intuito de representar o ambiente marinho do oceano atlântico; a segunda etapa é a de secagem em estufa a 60° graus Celsius por um período de 4 dias. Os ciclos foram realizados até a constatação de um estado ativo de corrosão das armaduras, que variou conforme o tipo de cimento utilizado. Os intervalos foram definidos de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 2 – Intervalos de Ciclos do ensaio acelerado de corrosão

CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM		
LEITURA INICIAL EM 16/08/2019		
	UMEDECIMENTO	SECAGEM
1º CICLO	16/08 - 19/08	19/08 - 23/08
2º CICLO	23/08 - 26/08	26/08 - 30/08
3º CICLO	30/08 - 02/09	02/09 - 06/09

Fonte: (AUTOR, 2019)

3.4 Eletrodo de referência

Consiste em uma meia célula de cobre/sulfato de cobre. O utilizado neste trabalho foi confeccionado pelos próprios autores seguindo a norma ASTM C876. Ele foi composto por um tubo rígido e uma haste de cobre de 6 mm. Em sua ponta foi utilizado madeira, que é um material inerte e poroso que proporcionaria uma ponte do líquido de baixa resistência elétrica entre a superfície do concreto e a meia célula, pois é a ponta que fica em contato com o concreto durante a realização do potencial de corrosão. No interior do tubo é preparada uma solução saturada de sulfato de cobre e água destilada ou deionizada. A quantidade de sulfato de cobre utilizada deve permitir a visualização de excesso de cristais no interior da solução, saturação.

3.5 Método de leitura

As leituras do potencial de corrosão foram realizadas com a utilização de um multímetro, conectado ao eletrodo de referência e à armadura dos corpos de prova. Para melhorar a condutividade elétrica entre o

eletrodo de referência e o concreto, uma esponja umedecida com água e detergente foi posicionada na superfície de contato entre ambos no momento das leituras. A figura 3 representa o esquema de funcionamento do ensaio.

A primeira leitura ocorreu logo após o processo de cura do concreto e antes do primeiro ciclo de corrosão acelerada para analisar o estado inicial das barras de aço. Posteriormente, as realizações dos ensaios seguiram os ciclos de umedecimento e secagem. A cada etapa, ou de molhagem ou secagem, todos os corpos de prova eram submetidos ao ensaio. O ensaio foi realizado até a constatação de um estado ativo de corrosão das armaduras e para comprovação, os corpos de prova foram quebrados para a análise visual do estado do aço.

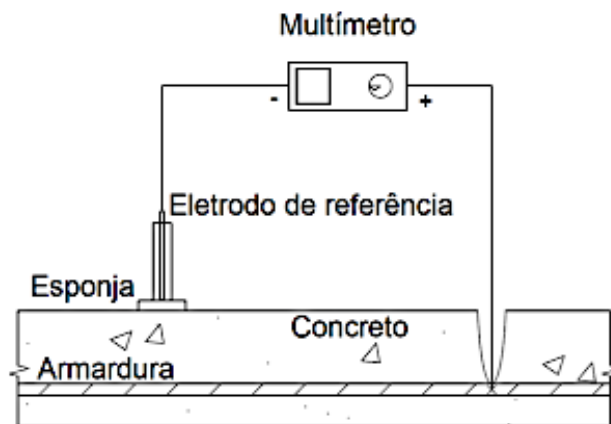
As leituras feitas através do voltímetro representam a diferença de potencial (DDP) entre o eletrodo de referência e a armadura conectada. A seguir, a tabela 3, retirada da norma ASTM C876, apresenta a correlação entre as leituras eletroquímicas do potencial de corrosão e a probabilidade de haver um estado ativo de corrosão da armadura analisada.

Tabela 3 – Análise de Probabilidade de Corrosão

ANÁLISE DE PROBABILIDADE DE CORROSÃO	
VALOR AFERIDO (mV)	PROBABILIDADE DE CORROSÃO
Maior que -200	Menor que 10%
Entre -200 e -350	Incerto
Menor que -350	Maior que 90%

Fonte: (ASTM C876, 2015)

Figura 3 – Esquema do ensaio de potencial de corrosão



Fonte: (AUTOR, 2019)

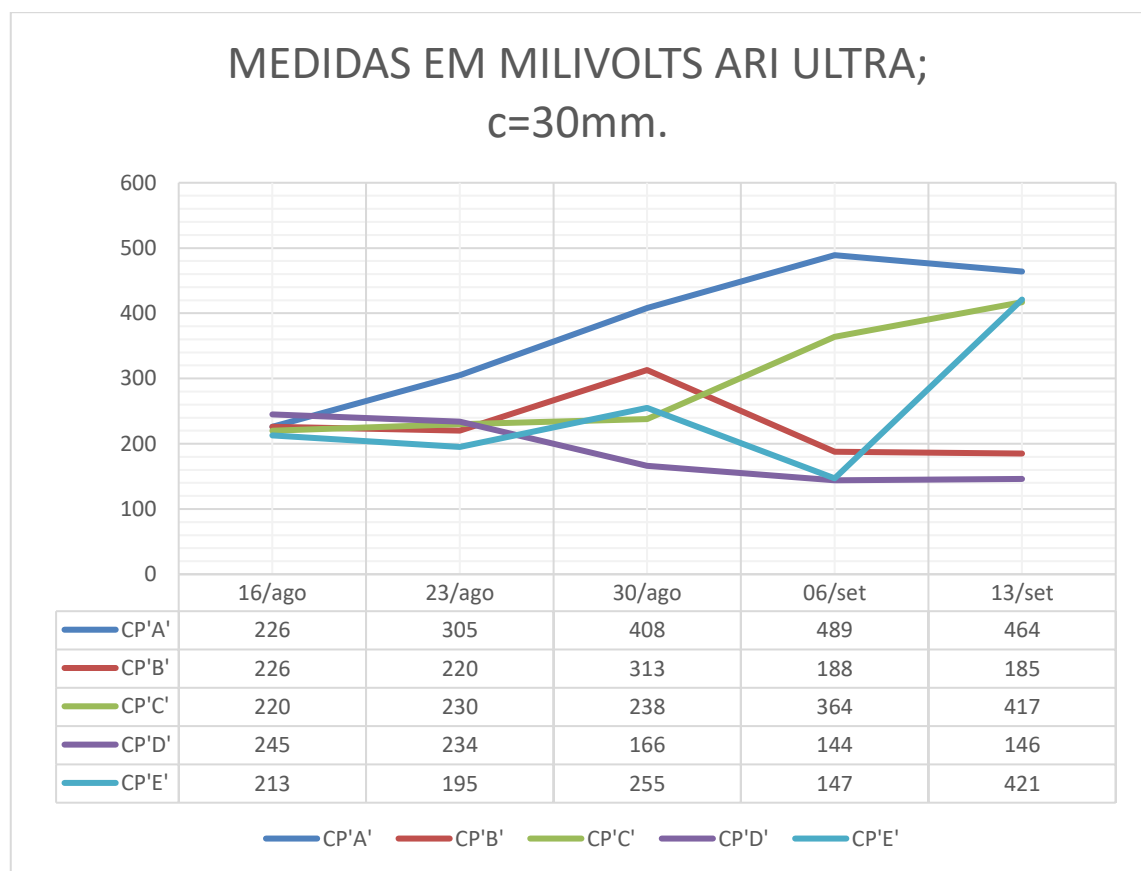
4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão expressos nos gráficos 1, 2 e 3 que informam as leituras do potencial de corrosão nas peças de concreto armado, constituintes dos diferentes tipos de cimentos.

Para melhor interpretação dos dados, colocou-se os resultados em módulo, diagnosticando uma curva crescente. Ressalta-se o cobrimento de 30 mm para todos os cimentos utilizados.

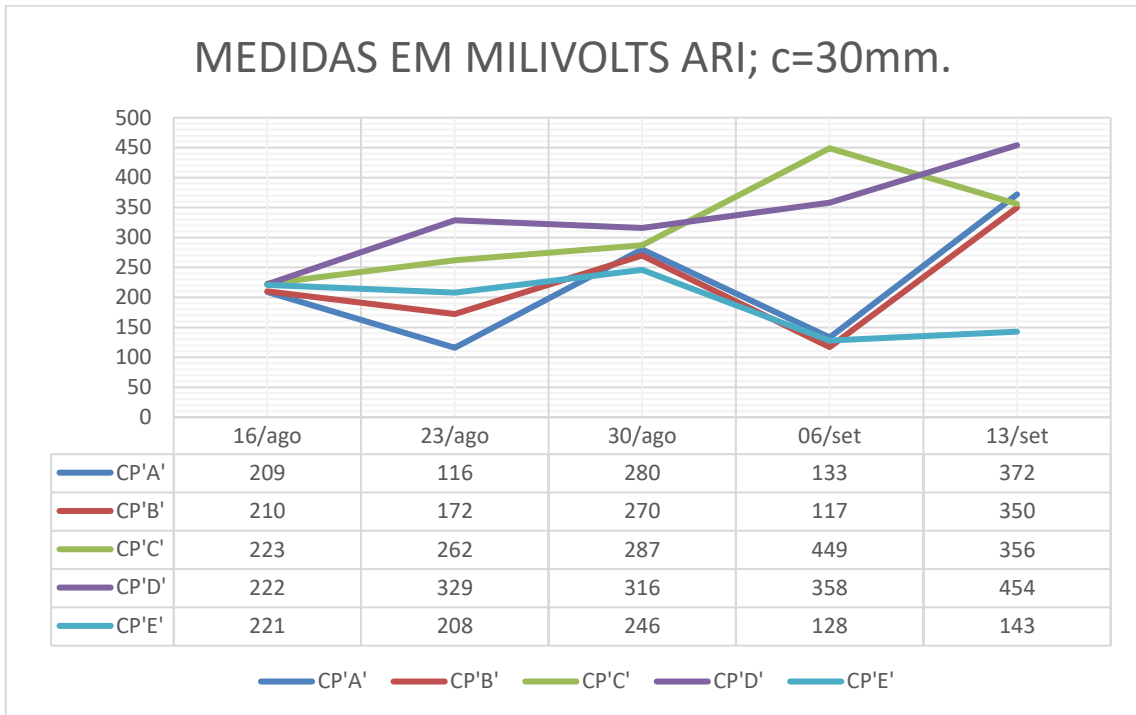
Especificamente no gráfico 3, na data de 13 de setembro, houve o rompimento dos corpos de prova, para verificação visual destes, haja visto que obtinham valores altos de probabilidade de corrosão.

Gráfico 1 – Leituras do Potencial de Corrosão: Cimento CPV ARI ULTRA



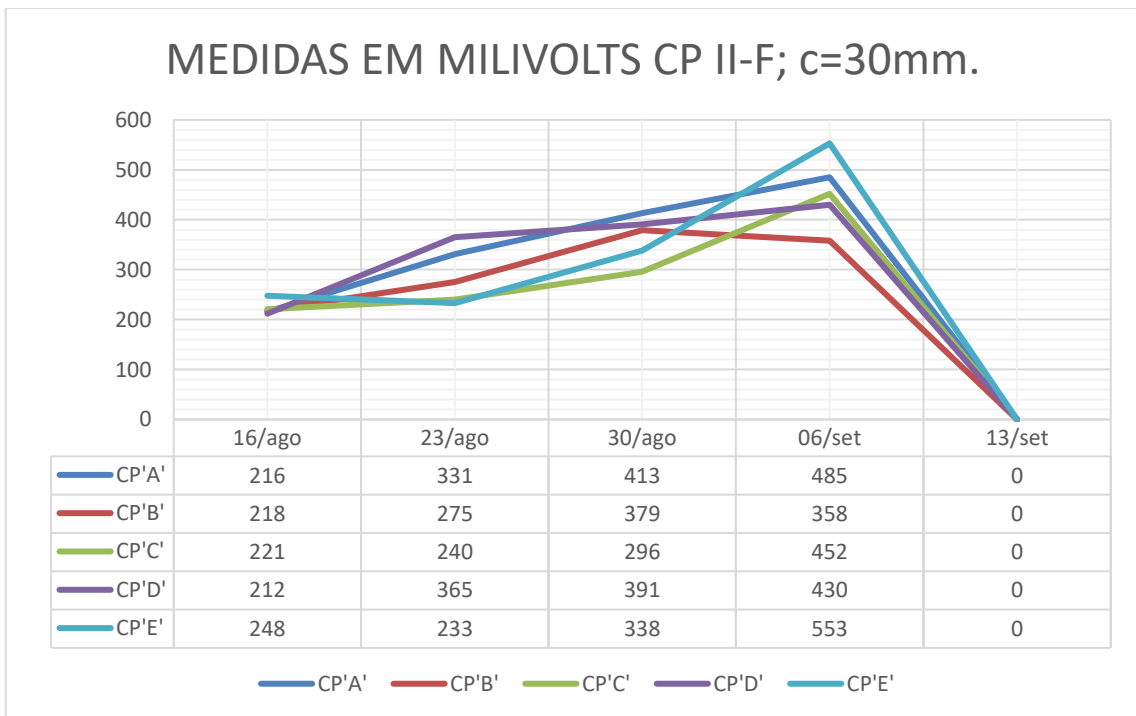
Fonte: (AUTOR, 2019)

Gráfico 2 – Leituras do Potencial de Corrosão: Cimento CPV ARI



Fonte: (AUTOR, 2019)

Gráfico 3 – Leituras do Potencial de Corrosão: Cimento CP II - F



Fonte: (AUTOR, 2019)

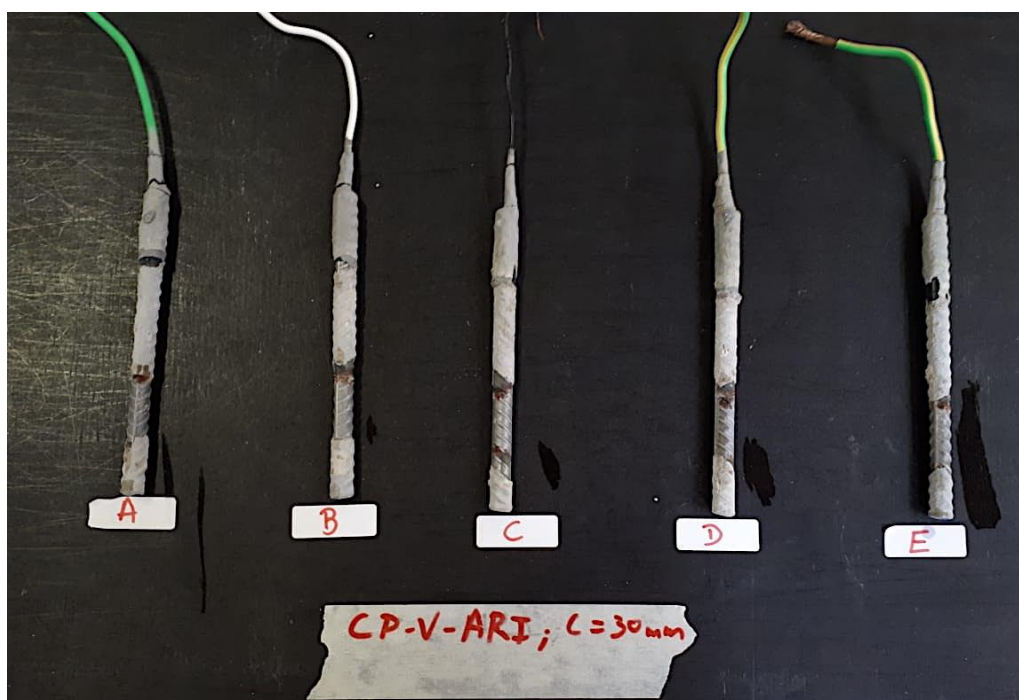
4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sob os resultados divulgados é possível averiguar que há uma influencia evidente do tipo de cimento usado para o ensaio determinado. Os corpos de prova constituídos por Cimento Composto com adição de Filer (CP II-F), apresentaram resultados de maior probabilidade de corrosão a partir da terceira semana de leitura, justificando seu rompimento na última semana. A alta presença de materiais carbonáticos na sua composição química é o fator determinante, cerca de 6 a 10% de sua composição. Sendo assim, esse cimento se mostra mais frágil quando deparado ao processo de corrosão.

Em contrapartida, tanto o Cimento de Alta Resistência Inicial (CP V ARI), como o Cimento de Alta Resistência Inicial ULTRA (CP V ARI - ULTRA) apresentaram lentidão para o diagnóstico de corrosão. Esse fator pode ser explicado pelo seu processo de fabricação. Segundo Lins (2004), este cimento, no seu processo de produção de clínquer, possui uma moagem mais refinada de suas partículas que, em contato com água, aglutina-se melhor seus constituintes, deixando-o menos poroso e dificultando a entrada de íons cloreto. Entretanto, ainda há em sua composição a presença de até 5% de matérias carbonáticas.

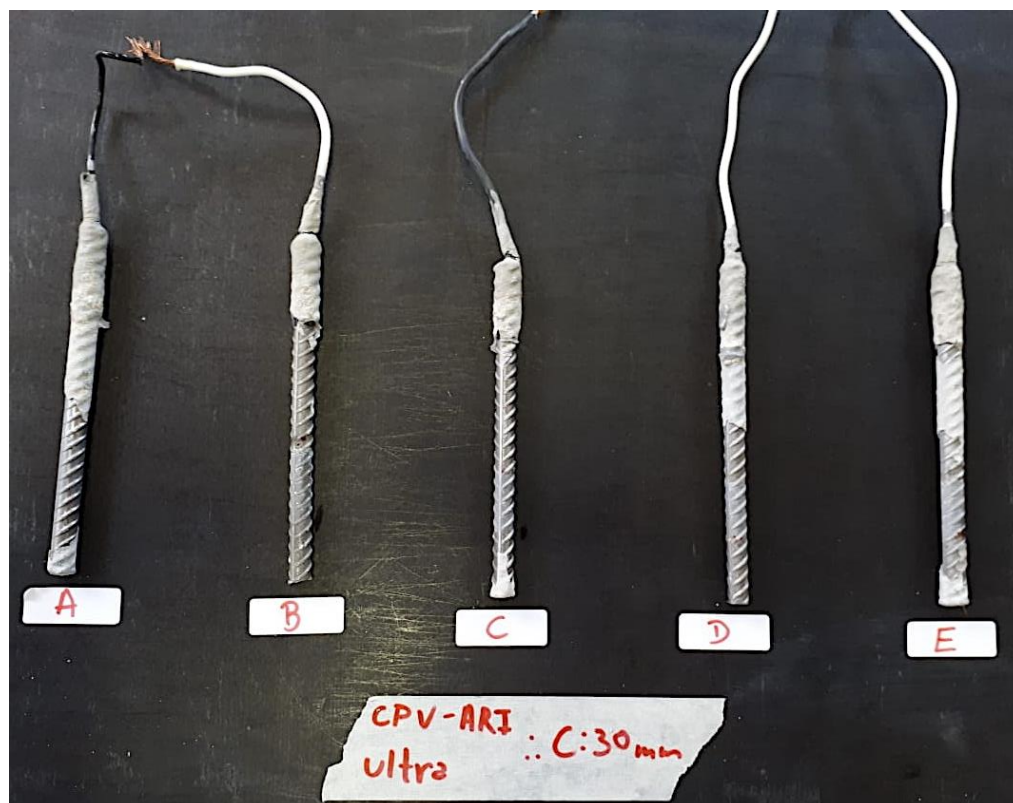
Para confirmação dos resultados se fez a verificação visual da presença de corrosão das barras, com verificado na figura 3 e 4 a seguir.

Figura 3 – Verificação Visual de Corrosão nas Barras de Aço (CP V ARI)



Fonte: (AUTOR, 2019)

Figura 4 – Verificação de Corrosão nas Barras de Aço (CP V ARI - ULTRA)



Fonte: (AUTOR, 2019)

5 CONCLUSÃO

Dessa forma ao analisar a composição química dos cimentos CP II-F, CP V-ARI e CP V-AR ULTRA, segundo a NBR 16697 (2018) é possível correlacionar o processo de corrosão com a porcentagem de material carbonático. Onde o Cimento Composto com Adição de Fíler (CP II-F) possui de 6%-10% de material carbonático em sua composição enquanto o Cimento de Alta Resistencia Inicial (CP V-ARI) e o Cimento de Alta Resistencia Inicial ULTRA (CP V-ARI ULTRA) possuem de 0%-5% de tal material.

Observando a relação entre a composição citada e os resultados obtidos, representados nos gráficos 1 à 3, correlacionando-os com as classificações de agressividade ambiental da NBR 6118 (2014), reproduzidas na Tabela 1, é possível encontrar uma restrição de uso do cimento CP II-F em classes de agressividade Forte e/ou Muito Forte, levando em consideração à susceptibilidade do material à ataques por cloreto.

Enquanto os cimentos CP V-ARI e CP V-ARI ULTRA, possuem resultados amenos demonstrando que seu uso pode ser aplicado a todas as

classes de agressividade ambientais. Vale ressaltar a importância do monitoramento de estruturas em zonas de agressividade Forte e Muito Forte, onde o risco de deterioração classificado pela NBR 6118 (2014) é Grande e/ou Elevado, possibilitando a avaliação periódica de acordo com a ASTM-C-876

REFERÊNCIAS

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 876: **Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforced steel in concrete** – (1999 reapproved 2009). Annual Book of ASTM Standard, 2015.

ASTM G1-90: **Standard practice for preparing, cleaning and evaluating test specimens**. Philadelphia, 1990. (Reapproved 1994).

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

CABRAL, A. E. B. **Avaliação da eficiência de sistema de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. Porto Alegre-RS, 2000. 187p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LINS, Luciana N.; FILHO, Moacyr C. **Apostila de Materiais de Construção Civil I**. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo; IBRACON, 2008.

NASA, Aquarius. **Sea Surface Salinity from Space**. 2015. Disponível em: <https://https://aquarius.oceansciences.org/cgi/gal_salinity.cgi>. Acesso em: 12 out. 2019.

SITTER, W. R. **Costs for Service Life Optimization the “Law of Fives”**. Comitê Euro International du Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n. 152, p. 131 - 134, 1983.

TORRES, A. da S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. 2011. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.