



ADIÇÃO DA SÍLICA ATIVA E DO METACAULIM NO CONCRETO PARA AVALIAÇÃO DA CORROSÃO POR ÍONS CLORETOS

GABRIELLI GALVÃO RODRIGUES DUARTE, Sandy (1); GABRIEL ARRUDA LEITE DE LIMA, Victor (2); DE SOUSA TETI, Bruno (3); SANTOS CALÁBRIA, Iago (4)

Universidade de Pernambuco - UPE, Sandyrduarte@hotmail.com; Universidade Maurício de Nassau - UNINASSAU, contato.victorgabriel@outlook.com; Universidade de Pernambuco - UPE, Bruno_Teti@hotmail.com; Instituto Brasileiro de Educação Continuada - INBEC, Iago_SC@hotmail.com.

RESUMO

As manifestações patológicas no concreto podem aparecer por diversos mecanismos. Dentre eles, a corrosão das armaduras é uma das mais agressivas, principalmente se for causada pela penetração dos íons cloretos. Na intenção de diminuir tal situação, o uso das adições minerais seja por adição ou substituição parcial do cimento, está aumentando cada vez mais. Além disso, quando se trata de sustentabilidade, observa-se que devido a diminuição do cimento, consequentemente há a minimização da quantidade de clínquer, visto que é um dos maiores contribuintes na sua fabricação quando se trata de poluição a partir da emissão de CO₂. É importante que avalie-se quais as melhorias e desvantagens que tal uso pode apresentar. Por exemplo, quando trata-se da tentativa de amenizar a corrosão por carbonatação, se houver uma substituição do cimento por metacaulim, ocorre uma redução de alcalinidade no concreto, podendo agravar a carbonatação. Porém, tanto o metacaulim quanto a sílica ativa contém grãos muito finos, tendo como vantagem a diminuição dos poros, tornando o concreto menos permeável, dificultando a penetração dos íons cloretos, e consequentemente aumentando a durabilidade. Na busca por um conhecimento mais aprofundado sobre as melhorias que o uso de adições apresentam no concreto, esta pesquisa foi realizada, objetivada na comparação com os resultados obtidos por Cardoso (2016). Foi proposto a utilização de duas relações água/cimento: 0,5 e 0,7, com um percentual de 15% das adições minerais: Sílica Ativa e Metacaulim. Para tal, foram realizados os ensaios de Potencial de Corrosão e o método colorimétrico da aspersão de nitrato de prata, para verificar a profundidade de penetração dos íons cloretos. Com a conclusão desta pesquisa, observou-se que as amostras com metacaulim e sílica ativa obtiveram um menor percentual de corrosão, segundo o ensaio de potencial de corrosão. Notou-se também uma melhoria quanto ao resultado da penetração dos íons cloretos, mostrando-se viável.

Palavras-chave: Corrosão. Cloretos. Metacaulim. Sílica Ativa.

ABSTRACT

Pathological manifestations in concrete can appear by different mechanisms. One of them, the reinforcement corrosion is one of the most aggressive, especially if it is caused by the penetration of chloride ions. In order to reduce such a situation, the use of mineral additions either by addition or partial cement replacement, it is increasing more and more. In addition, when it comes to sustainability, due to decrease in cement, consequently there is the minimization of the clinker, because quantity is one of the biggest contributors in your manufacturing when it comes to pollution from CO₂ emissions. It is important to assess what improvements and disadvantages which such use may entail. For example, when it is the attempt to mitigate corrosion by carbonation, if there is a replacement of cement by metacaulin, occurs a decrease of alkalinity in concrete and may aggravate the carbonation. However, both metacaulin and active silica contain very fine grains, with the advantage of reducing the pores, making the concrete less permeable, hindering the penetration of chloride ions, and consequently increasing durability. In the search for a more in-depth knowledge about the improvements that the use of additions present in the concrete, this research was carried out, objectified in the comparison with the results obtained by Cardoso (2016). It was proposed the use of two water / cement ratios: 0.5 and 0.7, with a percentage of 15% of the mineral additions: Active Silica and Metacaulim. For this, the tests of

Corrosion Potential and the colorimetric method of silver nitrate spray were carried out to verify the depth of penetration of chloride ions. With the conclusion of this research, it was observed that the samples with metacaulim and active silica obtained a lower percentage of corrosion, according to the corrosion potential test. It was also noticed an improvement in the result of the penetration of chloride ions, proving to be viable.

Keywords: Corrosion. Chlorides. Metakaolin. Active Silica.

1 INTRODUÇÃO

O uso de estruturas de concreto armado está presente em praticamente todas as construções, onde tem-se como conceito inicial de fabricação e uso, atender as exigências mecânicas. Apesar deste material apresentar excelente durabilidade, sabe-se que com o passar do tempo, necessariamente, ele perderá tal característica, devido à forte interação e exposição do meio ambiente, além do envelhecimento da estrutura, falhas de projeto, entre outros fatores que podem levar a patologia na construção.

Há inúmeras formas de realizar a recuperação em estruturas que sofreram desgaste ao longo do tempo, porém cada recuperação está ligada a um determinado tipo de patologia e a causa que o envolve. Em alguns casos, encontra-se na estrutura de concreto armado, mais de um tipo de patologia, que foi originado por diferentes causas, ou até mesmo pela combinação de diversos fatores, ocasionando numa patologia predominante. Devido a isso, faz-se necessário a realização de estudos de casos, para determinar e especificar cada patologia, e encontrar a maneira correta de recuperar, afim de evitar o desperdício de materiais e de dinheiro, ou expor os trabalhadores a riscos de vida (Brik, et al, 2013).

A partir disso, tenta-se criar um olhar mais crítico quanto ao projeto, execução e manutenção da construção, afim de evitar o aparecimento de manifestações patológicas, porém, ainda há muita precariedade nesse ponto. Apoiado nessas afirmações, a importância de buscar meios para evitar a acentuação de corrosões nas estruturas está se tornando cada vez mais indispensável.

Na busca incessante pela melhoria do concreto, a aplicação de adições minerais, como o Metacaulim e a Sílica Ativa vem aumentando cada vez maior. Tal uso tem se dado por substituição parcial ou total no traço.

Porém, além das benfeitorias que tais adições minerais trazem ao concreto, nota-se que o uso do Metacaulim, reduz a alcalinidade do concreto, desfavorecendo a proteção quanto a carbonatação. Quanto a corrosão por cloretos nota-se uma melhoria, pois o uso dessa adição, reduz a porosidade do concreto, tornando-o mais impermeável, dificultando a penetração dos íons cloretos na estrutura, impedindo-os de chegar até a armadura (Perim, 2013).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Durabilidade e vida útil do concreto

A durabilidade está ligada a capacidade de um material de se manter num determinado estado por um tempo estabelecido. Tal definição está ligada ao comportamento do material que será utilizado, atendendo as necessidades para o qual foi projetado (Melo, 2013).

Os conceitos de durabilidade e vida útil estão diretamente ligados. Segundo Cardoso (2016), ter uma construção durável consiste na realização de fatores

que possam garantir a estrutura uma satisfatoriedade no desempenho para o qual foi projetado, ao longo de sua vida útil.

De acordo com Zuchetti (2015), o conceito de desempenho está voltado para uma produção de edifícios e seus componentes, que atendam a determinadas exigências mecânicas ao longo da sua vida útil. Durante a etapa de construção, é crucial o seguimento das normas, e para isso, são determinadas atribuições para cada profissional que esteja envolvido com o empreendimento. Tais atribuições e normas são descritas na NBR 15575 (ABNT, 2013), que permite aferir a qualidade da construção.

2.2 O uso de adições minerais no concreto

O concreto é constituído basicamente pela mistura de cimento, agregados: gráudo e miúdo e água. Segundo Albuquerque (2014), o concreto apresenta limitações quanto ao seu desempenho, seja uma baixa resistência a tração, ou retração por secagem, entre outros. Para diminuir esses efeitos e também melhorar a durabilidade das estruturas, ultimamente as adições minerais têm sido bastante utilizadas. A escolha do tipo da adição adequada para utilização no concreto depende do que vai precisar ser melhorado no mesmo. Além disso, olhando pelo lado da sustentabilidade, a substituição parcial do cimento por adições, reduz consideravelmente a poluição, já que a fabricação do cimento é um dos maiores geradores de gases poluentes.

2.3 Metacaulim

De acordo com a NBR 15894:2010, Metacaulim é o Produto de calcinação e moagem de argilominerais cauliníticos. Constitui um tipo de Pozolana formada essencialmente por partículas lamelares com estrutura predominantemente não cristalina.

Devido a vantagem de acelerar o processo de hidratação do concreto, ele atua como Fíler e reage com o Ca(OH)_2 formando o C-S-H, pois é proveniente da hidratação do cimento Portland.

Ao substituir parcialmente o cimento pelo Metacaulim no concreto, verifica-se uma melhora significativa nas propriedades relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico do concreto no estado endurecido. Além disso, otimiza a distribuição granular da pasta e com isso contribuindo para uma melhor retenção de água, assim como uma redução na exsudação e segregação, o que acaba facilitando o acabamento final (NBR 15894:2010).

2.4 Sílica ativa

Segundo a NBR 13956-1:2012 Sílica Ativa define-se por um material resultante do processo de produção de silício metálico ou ligas de ferro-silício 75% em fornos elétricos, no qual no decorrer do processo é gerado o gás SiO que oxida-se ao sair do forno formando partículas de SiO_2 , captadas a partir de sistemas de filtros coletores.

Para se ter um concreto mais resistente ao ambiente agressivo é necessário ter como principal característica a permeabilidade. Quando a sílica ativa é adicionada, ela reage com o hidróxido de cálcio presente no cimento, proporcionando uma maior densidade e impermeabilidade nos poros. Outra

grande melhoria, são concretos com menos consumo de energia e emissão de CO₂, pois há a redução do cimento, que é um grande fator poluente.

2.5 Corrosão da armadura

“Pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos” (Gentil, 2012). Tal deterioração reflete em alterações prejudiciais sofridas pelo material, tais como desgaste, modificações estruturais, tornando-os inadequados para a utilização. Ainda segundo o mesmo autor, o processo de corrosão é algo espontâneo, não sendo mais grave devido a presença dos mecanismos protetores que envolvem os materiais metálicos.

No caso da armadura do concreto armado, a armadura não é suscetível a corroer, isso ocorre apenas se o concreto for contaminado e houver sua deterioração. A preocupação quanto à corrosão no concreto está mais crescente, pois além da deterioração, a corrosão afeta também a estabilidade e a durabilidade da estrutura.

2.6 Ensaio de presença de cloretos: método da aspersão de nitrato de prata

Os íons cloretos podem ser adicionados de forma involuntária no processo de fabricação do concreto, seja devido a utilização de água e/ou agregado contaminados, ou pelo uso de aditivos aceleradores de pega ou de endurecimento. Além disso, a penetração pode vir do exterior através dos poros existentes no concreto, originando-se a partir da agressividade da atmosfera marinha devido aos ciclos de molhagem e secagem, de materiais para lavagem de pisos e fachadas, entre outros fatores.

Para realizar-se a determinação do perfil de cloretos em concreto, através de corte ou perfuração, há a necessidade do uso de vários equipamentos e um bom tempo de análise. Para a obtenção de um resultado mais rápido e prático, usa-se o método colorimétrico da aspersão de AgNO₃. Ao usar essa solução, a reação química leva a uma mudança de cor no concreto, através do pH.

O ensaio foi baseado segundo a norma italiana UNI 7928 (1978), na qual estima uma solução de Nitrato de Prata com 0,1 mol/l de concentração, isto é, 17g de AgNO₃ para 1 litro de água destilada (Cardoso, 2016).

Ao aspergir essa solução no concreto, observa-se que onde forma-se um precipitado branco, o cloreto de prata, há a presença de cloretos livres, e quando os cloretos são fixos, forma-se um precipitado marrom, óxido de prata.

2.7 Ensaio do potencial de corrosão

O ensaio de potencial de corrosão é baseado na obtenção do potencial através de um eletrodo de referência, que indica qual a situação da corrosão ou a passividade da armadura, de forma aproximada. Através dele, é possível identificar na armadura onde há a despassivação, antes do dano se tornar mais sério. As informações adquiridas são puramente qualitativas, devido a isso é necessário a realização de outros ensaios para complementar as informações obtidas. Tal ensaio não deve ser feito nunca de forma isolada e absoluta (Barros, et al, 2016).

O equipamento utilizado neste trabalho foi um potencial de corrosão de meia célula. Ele tem como finalidade indicar a probabilidade da ocorrência da

corrosão, assim como a classificação do estado do concreto, onde resulta numa imagem com as características do estado da corrosão da superfície do aço dentro do concreto. Tal técnica é realizada através da relação eletroquímica que ocorre entre o aço e o concreto, com a utilização de uma vareta de cobre que fica imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre. No sistema Canin+ há uma meia célula de cobre/sulfato (Cu/CuSO₄) como referência, mantendo um potencial constante de 10 MΩ. O eletrodo de referência é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância ao reforço de aço, devendo ser movimentado em forma de grade. O modelo da grade deve ser escolhido de acordo com a estrutura analisada, acima da superfície de concreto (Lima, 2016).

Os critérios utilizados para a comparação com os resultados desse trabalho, foram os recomendados ASTM C- 876/91 assim como os critérios propostos por Bastos (2005) com a utilização do Diagrama de Pourbaix para a determinação das faixas de probabilidade de corrosão.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada foi baseada em trabalhos pesquisados, proposto por Cardoso (2016), assim como os valores e materiais empregados, onde as amostras ensaiadas obtiveram resultados positivos com a adição de sílica ativa e metacaulim. Devido a isso, este presente trabalho foi realizado com as mesmas condições, utilizando-se amostras com barras de aço, para analisar o desempenho das mesmas com o uso de adições minerais, tomando-se por base de comparação os resultados de Cardoso (2016).

Com base na análise do trabalho, o valor do percentual de adição adotado foi escolhido de acordo com o melhor resultado obtido por Cardoso (2016), tendo o percentual de 15% tanto de Sílica Ativa quanto de Metacaulim, acarretando um melhor resultado quanto a proteção do concreto quando exposto aos íons cloreto.

Para a realização deste pesquisa foi feito o uso da argamassa ao invés do concreto, devido as dimensões dos corpos de prova, que impossibilitariam a utilização de agregados graúdos. De acordo com Mota (2011), há uma semelhança entre a estrutura porosa da pasta da argamassa e da pasta do cimento, mesmo que haja um efeito na zona de transição entre os materiais.

O cimento utilizado no experimento foi o CP II Z 32, Cimento Portland Composto com Pozolana. A armadura empregada foi de classe CA – 50 (superfície nervurada), com 6,3 mm de diâmetro. O tipo de areia utilizada foi seca, ensacada da Areiasil. Antes de ser pesada, a areia foi peneirada. A água do laboratório da UNICAP é abastecida pela rede da COMPESA.

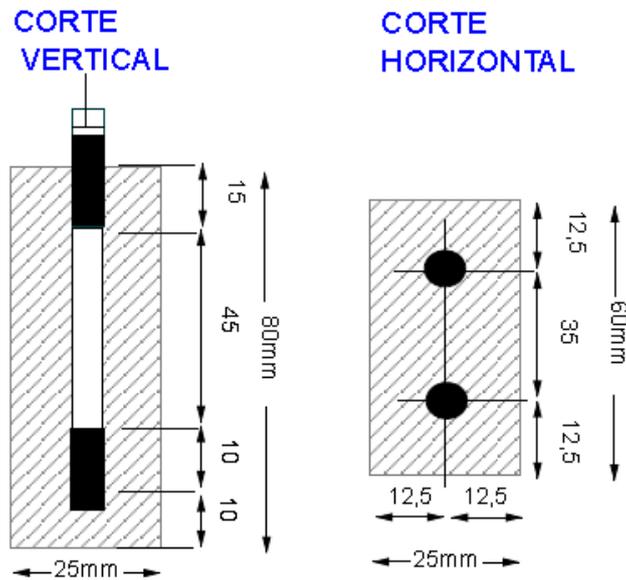
Os traços utilizados foram baseados na pesquisa realizada por Cardoso (2016). Com o objetivo de dar continuidade a pesquisa realizado anteriormente, utilizou-se o traço de 1:3, com duas relações água/cimento: 0,5 e 0,7.

A presente pesquisa buscou apresentar duas situações: a presença de cloretos livres em corpos de provas, quando submetidos à indução de penetração de íons cloreto, através de semiciclos de secagem e imersão parcial em solução salina – Série A, e a segunda foi a determinação do Potencial de corrosão dos mesmos corpos de prova da Série B.

Para a realização dos ensaios, foram confeccionados 16 corpos de provas: 8 com Sílica Ativa sendo 4 para cada relação a/c, e 8 da mesma forma para Metacaulim. O corpo de prova utilizado para a realização deste trabalho, proposto por Monteiro (1996) é do tipo prismático, com as dimensões de 60 x 80

x 25 mm, duas barras de 6,3 mm de diâmetro, 100 mm de comprimento e com cobertura de 10 mm, conforme a Figura 1. A forma utilizada foi de material plástico facilitando assim a moldagem e a desmoldagem dos corpos de prova (Figura 2).

Figura 1 - Cortes vertical e horizontal do corpo de prova.



Fonte: Monteiro, 1996.

Figura 2: Corpo de prova – Vista lateral.



Fonte: Autora, 2016.

As barras foram submetidas a um procedimento de limpeza, para retirar os óxidos que envolvem a barra e toda a impureza, deixando-as com a mesma condição de superfície, conforme as orientações da ASTM C 1152 (1999).

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada um misturador mecânico (argamassadeira). Após a fabricação da argamassa, foi realizado imediatamente a moldagem dos corpos de prova de forma manual, com o lançamento e adensamento em duas camadas, com o uso do soquete.

A desmoldagem dos corpos de prova foi realizada 24 horas a moldagem, e identificadas. Não foi realizada a cura, de forma a acelerar o processo de penetração de íons cloretos.

3.1 Ensaio do potencial de corrosão

Para a realização do ensaio do potencial de corrosão, foi feita uma identificação das amostras (Figura 3).

Figura 3: Identificação das amostras.

Amostras	Adição	a/c
40 e 41	Metacaulim	0,7
44 e 45		0,5
42 e 48	Sílica Ativa	0,5
46 e 47		0,7

Fonte: Autora, 2016.

Logo após, colocou-se a tampa do eletrodo, a qual contém também uma rolha de madeira, submersos em um recipiente com água, durante 20 minutos. Pois, para que se assegure um contato de baixa resistividade, a rolha deve estar completamente saturada por água. Foi preparada uma solução de água destilada com o sulfato de cobre aturada com a proporção de 40 unidades de massa de CuSO_4 para 100 unidades de massa de H_2O (foram utilizadas 15 g de Sulfato de Cobre) como pode ser observada na Figura 4. Em seguida, tal solução foi inserida no recipiente do eletrodo de barra e fechado.

Figuras 4: Sulfato de Cobre e recipiente do eletrodo de barra.



Fonte: Autora, 2016.

Ao longo do tempo em que se esperava a rolha ficar saturada, foram feitas localizações das posições das armaduras nas amostras e definidas as grades na superfície dos pilares. Logo após, a superfície da amostra foi pré-umedecida para que houvesse uma maior mobilidade dos íons na área, de forma a favorecer o processo eletroquímico do sistema aço/concreto. Foram realizadas as medições do potencial de corrosão ao longo das grades demarcadas (Figura 5).

Figura 5: Medições do Potencial de Corrosão.



Fonte: Autora, 2016.

3.2 Ensaio da presença de cloretos: método da aspersão de nitrato de prata

Para a realização deste ensaio, adotou-se a técnica utilizada por Monteiro (1996) e Cardoso (2016), onde os corpos de prova foram submetidos a 3 ciclos de secagem em estufa a 50° C, e logo após a imersão parcial em água com 5% de cloreto de sódio, finalizando com a secagem em estufa para a preparação dos corpos de prova para a realização do ensaio. O período de secagem é maior, pois o concreto perde água de forma mais lenta do que absorve, sendo assim foram 5 dias em estufa e 2 imersos.

Esses ciclos serviram para submeter os corpos de prova à indução de penetração de cloretos, como uma forma idealizadora das exposições reais que o concreto sofre.

O sistema adotado é dado como bastante severo (Podendo ser comparado, por exemplo com um poste que está localizado na beira mar de Boa Viagem/ Recife-PE, onde recebe diretamente a agressividade da água e areia salina) devido aos semiciclos de secagem e molhagem atuarem no aumento da velocidade de transporte de O₂ para as proximidades das áreas catódicas das armaduras (Monteiro, 2002).

Após o fim dos semiciclos, as amostras foram rompidas aspergindo-se em seguida a solução de nitrato de prata na superfície interna. Subseqüentemente, foram realizadas as leituras das amostras com o auxílio de uma régua. Foram realizadas várias leituras para compará-las.

4 RESULTADOS

4.1 Potencial de corrosão

Para a comparação dos resultados, foi tomada como base o Figura 6 (Diagrama de Pourbaix) e a Figura 7. A condição em que as Figuras 8 e 9 (Resultados do ensaio) , nas quais estão apresetnadas os resultados obtidos, se encontram é do tipo Corrosão Localizada (Entre -200 a -600), devido a presença dos íons

cloretos, com um risco alto de dano.

Figura 6: Probabilidades de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial, das condições do concreto e do meio-ambiente.

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

Fonte: Bastos, 2005.

Figura 7: Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial ASTM C-876/91

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 ₄ , Cu ²⁺ (ASTM C 876)	> -0,200 V	-0,200 V a -0,350 V	< -0,350 V
Hg, Hg ₂ Cl ₂ /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

Fonte: Ribeiro et al, 2013.

Na Figura 8, são apresentados os valores referentes as amostras com relação a/c 0,5, assim como para 0,7 com a adição de Metacaulim. Tais amostras tiveram seus resultados com variações entre -435 mV e -440 mV. Em comparação com a Figura 6, está na condição de corrosão uniforme, com um alto risco de dano e quanto a Figura 7 proposto pela ATSM C-876/91, há a probabilidade de corroer maior que 90%,. Para as amostras com a/c 0,5 e 0,7 com Sílica Ativa, assim como os resultados anteriores, a porcentagem de corrosão é de 90%, com a corrosão localizada e alto risco de dano (Figura 9).

Figuras 8 e 9 - Medida do Potencial de Corrosão para amostras com a/c 0,5 e 0,7 com Metacaulim e Sílica Ativa

Metacaulim			
Relação a/c - 0,5		Relação a/c - 0,7	
Potencial (mV)			
Lado Direito	Lado Esquerdo	Lado Direito	Lado Esquerdo
-435	-438	-535	-535
-438	-440	-535	-540
-440	-435	-545	-545
Sílica Ativa			
Relação a/c - 0,5		Relação a/c - 0,7	
Potencial (mV)			
Lado Direito	Lado Esquerdo	Lado Direito	Lado Esquerdo
-450	-440	-488	-485
-455	-443	-490	-488
-465	-455	-493	-488

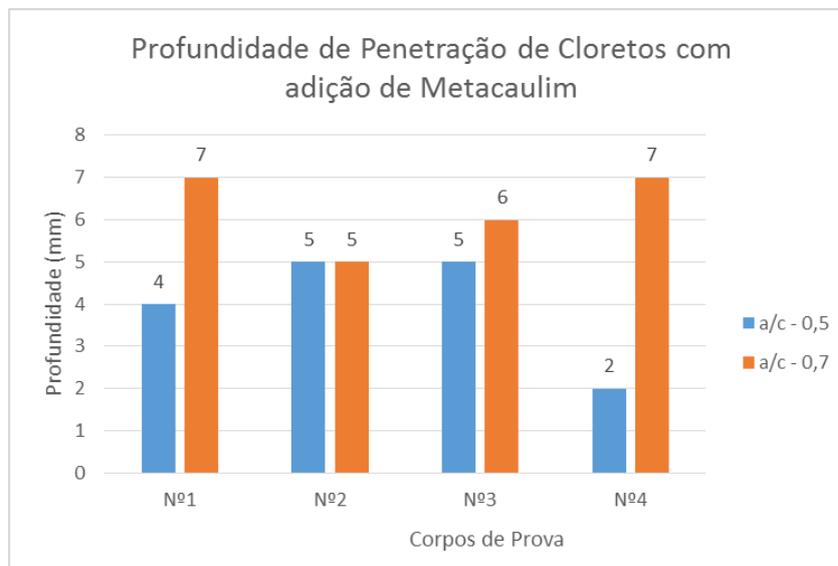
Fonte: CaninMacro Excel, 2017 (2016).

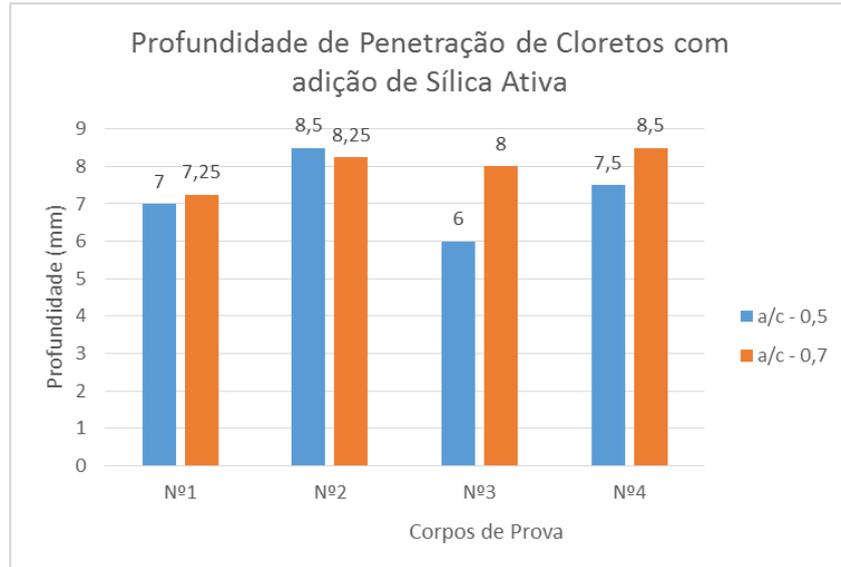
4.2 Ação dos cloretos

Na Figura 10 apresentam-se os resultados da profundidade da penetração dos íons cloretos para as amostras moldadas com relação água/cimento de 0,5 e 0,7 com a adição de Metacaulim. Porém, comparando as amostras com relação a/c de 0,5 e 0,7, pode-se notar que as amostras que foram confeccionadas com a/c 0,5 corroeram menos por cloretos.

Na Figura 11 os resultados da profundidade da penetração dos íons cloretos, para as amostras moldadas com relação água/cimento de 0,5 e 0,7 com a adição de Sílica Ativa. Ao realizar uma média dos valores obtidos, nota-se que com a relação a/c 0,5, a corrosão ocorreu numa proporção menor.

Figura 10 e 11 – Profundidade de penetração de cloretos com adição de Metacaulim e Sílica Ativa

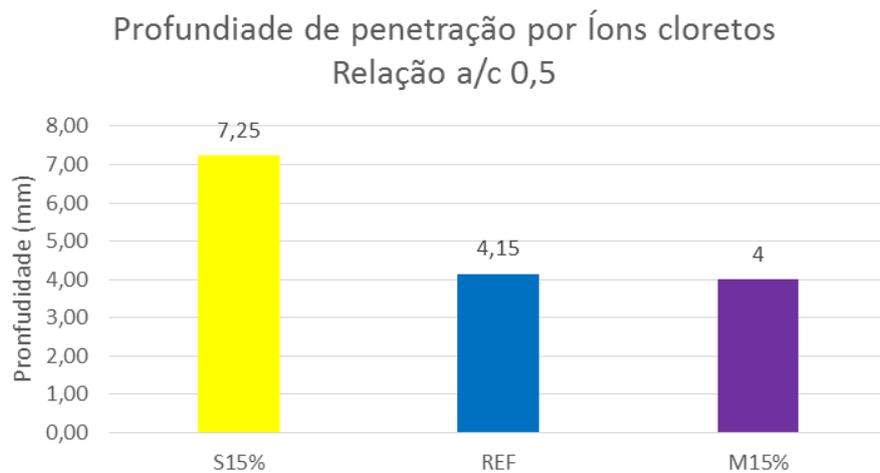


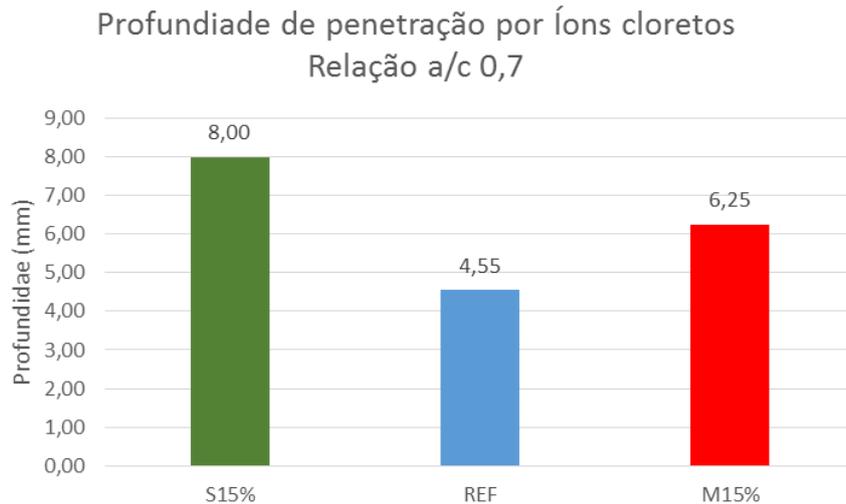


Fonte: Autora, 2016.

Ao comparar as amostras, as que foram confeccionadas com metacaulim, apresentaram uma proporção de corrosão menor do que as com a adição da sílica ativa, com relação a/c 0,5 (Figura 12). Já a adição da Sílica Ativa apresentou uma grande disparidade em relação a pesquisa de Cardoso (2016), tanto para a relação a/c 0,5, quanto para 0,7 (S15% = Amostras de Sílica Ativa com 15% de adição e M15% = Amostras de Metacaulim com 15% de adição). Quanto às amostras com a relação a/c 0,7, constatou-se que o metacaulim, comparado a sílica ativa, corroeu menos (Figura 13). Comparando com os resultados de Cardoso (2016), a partir dos seus valores referenciais, a amostra S15%, teve seu valor aumentado em mais de 3 mm, conseqüentemente em mais de 170% comparado ao de Cardoso (2016).

Figura 12 e 13 – Comparativo: valores da pesquisa e de Cardoso (2016) para relação a/c 0,5 e 0,7





Fonte: Autora, 2016.

Alguns fatores podem ter colaborado para ocasionar nessa diferença dos resultados, tais como:

- Falha no adensamento, visto que as amostras encontravam-se um pouco porosas, o que facilitou ainda mais a penetração dos íons cloretos para o interior da estrutura, deixando também o concreto mais permeável;
- Erro do operador do ensaio.

5 CONCLUSÕES

Para as condições e parâmetros usados nesta pesquisa, foi possível concluir que ao substituir parcialmente o cimento por adições minerais, ocorre uma melhoria nas propriedades mecânicas do concreto, como já foi visto ao longo desta pesquisa, seja no estado fresco, seja no estado endurecido, embora tenha ocorrido uma diferença de valores.

Quanto ao potencial de corrosão, observou-se que as amostras tinham grande probabilidade de corroer. Este fato se deu devido as amostras terem sido submetidas a ciclos severos de penetração dos cloretos. Ainda assim, foi possível notar que uma redução na relação a/c, provoca uma redução nos valores do potencial de corrosão, reduzindo a probabilidade de ocorrência.

REFERÊNCIAS

BRIK, E. M. J.; MOREIRA, L. dos P.; KRUGER, J. A. **Estudo das Patologias em Estruturas de Concreto Provenientes de Erros em Ensaios e em Procedimentos Executivos**, 2013.

PERIM, J. R. **Influência do Metacaulim na Durabilidade de Concretos Usuais de Mercado Sujeitos à Carbonatação Acelerada**, 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

MELO, F. **Durabilidade, Vida útil e Principais Causadores da Degradação das Estruturas de Concreto**, 2013. IFRN – IX – CONGIC, 2013.

ZUCHETTI, P. A. B. **Patologia da Construção Civil: Investigação Patológica em Edifício Cooperativo de Administração Pública no Vale do Taquari / RS**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - UNIVATES, 2015.

- ALBUQUERQUE, R. T. O.; LIMA, N. L. De A. **Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade**, 2014.
- _____. **NBR 15894-1**: Metacaulim para uso com Cimento Portland em concreto, argamassa e pasta – Parte 1 Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- _____. **NBR 13956-1**: Sílica Ativa para uso com Cimento Portland em concreto, argamassa e pasta – Parte 1 Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª Edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.
- UNI 7928. **Determination of chloride ion penetration**. Italian Standard 7928. Roma. 1978.
- CARDOSO, A. da S. **Análise da Capacidade de Proteção do Cimento com Adição de Metacaulim e Sílica Ativa sob a ação de CO₂ e Íons Cloretos**. 2016. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 2016.
- BARROS, T; BERENQUER, R. A.; GUIMARÃES, N.; LIMA, N.; BARRETO, L. **Análise de Fatores Contribuintes para a Ocorrência de Corrosão de Armaduras**. 2016, I SEMIPAR – Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural, Universidade de Pernambuco, 2016.
- LIMA, W. S. de; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, R. A. de. **Análise da Corrosão de Barras de Aço Empregadas em Concreto Armado**, 2016. – IBRACON, edição 58, Belo Horizonte, 2016.
- BASTOS, E. J. O. **Propedêutica para o estudo da corrosão de armaduras em estruturas de concreto**, Tese de Doutorado, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.
- MOTA, A. C. M. **Avaliação da presença de cloretos livres em argamassas através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.
- MONTEIRO, E. C. B. **Estudo da Capacidade de Proteção de Alguns Tipos de Cimento Nacionais, em Relação à Corrosão de Armaduras sob a Ação Conjunta de CO₂ e Íons Cloretos**, 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília, 1996.
- _____. **ASTM C 1152**: “Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete.” Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1992.
- MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- 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.