

AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DO AÇO EM CONCRETOS CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A CICLO DE SECAGEM E MOLHAGEM FRENTE A AÇÃO DE ÍONS DE CLORETO

ALINE TABARELLI¹; KAREN TREIN²; LUANA USZACKI KRÜGER³; PRISCILA MATHIAS MILECH⁴; ESTELA O. GARCEZ⁵; CÉSAR A. O. AVELLANEDA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – tabarellialine@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – karen_trein@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas – luanauszacki@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – priscila.milech@gmail.com

⁵Deakin University – estela.o@deakin.edu.au

⁶Universidade Federal de Pelotas – cesaravellaneda@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material poroso, com uma estrutura bastante heterogênea e complexa (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Ele é de longo o material de construção mais utilizado e o segundo mais consumido no mundo perdendo apenas para a água (ZHANG et al, 2019).

É importante avaliar as características de durabilidade dos materiais de construção pois o reparo e substituição das estruturas por falhas nos materiais é considerado substancial no custo total da construção (THEISS, 2019), uma destas características de durabilidade é o tempo de corrosão de metais.

A corrosão de barras de reforço de aço em concreto é uma ameaça significativa à segurança, facilidade de manutenção e durabilidade de estruturas de concreto armado, incluindo custos diretos e indiretos da corrosão do reforço. O significativo custo e as constantes preocupações com durabilidade motivam o estudo para para conhecer e mitigar a corrosão em estruturas de concreto armado (ABO ALARAB et al, 2019). Danos nos concretos resultantes da corrosão se manifestam, geralmente, na forma de expansões que levam a fragmentar o revestimento. Além da perda da cobertura em concretos armados alguns danos estruturais devido à perda de ligação entre o aço e o concreto, muitas vezes podem se tornar falhas estruturais inevitáveis (LORETO et al, 2019).

A razão predominante da deterioração das estruturas de concreto armado está relacionada a sua resistência a penetração dos agentes agressivos, onde os íons cloreto respondem a uma parcela significativa dos problemas encontrados nestas estruturas (HELENE et al, 2018). O deslocamento dos agentes agressivos no material é determinado pela estrutura da pasta, suas características químicas e físicas, concentração das substâncias agressivas e condições ambientais (NEVILLE, 2016).

O método colorimétrico é um método qualitativo amplamente utilizado para determinação de cloretos em concretos e argamassas, baseados na aplicação de um indicador químico, que na presença de cloretos, apresentam mudança na sua coloração, servindo para determinar o teor mínimo de cloretos livres que podem ser detectados pela solução indicadora (FRANÇA, 2011, REAL *et al.*, 2015; HELENE *et al.*, 2018). Como a penetração de íons cloretos não é uniforme, a NT BUILD 492 (1999) recomenda realizar medidas a cada 1 cm, sendo o resultado a média entre todas elas (TANG AND SØRENSEN, 2001).

O presente trabalho tem como objetivo investigar a penetração dos íons de cloreto, avaliar a profundidade de penetração com o tempo de exposição e o processo de corrosão da armadura em amostras de concreto armado submetidos a ciclos de

secagem e molhagem através do método colorimétrico pela técnica de perda de massa.

2. METODOLOGIA

Os materiais adotados na produção dos concretos foram cimento Portland CP V-ARI (massa específica de $3,21 \text{ g/cm}^3$), agregado graúdo granítico britado (massa específica de $2,65 \text{ g/cm}^3$) e agregado miúdo areia quartzosa (massa específica de $2,604 \text{ g/cm}^3$) sem adição de aditivos.

A dosagem do concreto adotada foi a metodologia do IPT/EPUSP. O traço adotado foi uma relação de argamassa de 51%, com um consumo de cimento de $382,6 \text{ kg/m}^3$ e uma relação água/cimento de 0,5. Considerando os limites da norma brasileira projeto de estruturas de concreto ABNT NBR 6118:2014 para classe de agressividade forte (Classe III) foram moldados corpos de prova (CP) cilíndricos de dimensões $20 \times 10 \text{ cm}$, onde foram inseridas, no interior do CP, barras de aço grafite de CA 50 de 8 mm com cobrimento de 40 mm. As propriedades do estado fresco foram segundo a norma ABNT NBR NM 67:1998 (*Slump Test*) e as propriedades do estado endurecido foram segundo a ABNT NBR 5739:2018 considerando uma classe superior a C30 (ABNT NBR 8953: 2015).

Para o estudo da penetração de íons cloretos os CP de 28 dias de cura úmida, foram submetidos a uma solução de NaCl através de ciclos semanais de secagem e molhagem. Foram considerados períodos de 6 meses (25 ciclos) e de 12 meses (56 ciclos) para o ensaio colorimétrico e perda de massa. As amostras após o ciclo estudado foram rompidas e submetidas a aspensão de nitrato de prata (AgNO_3) que é o indicador utilizado no ensaio colorimétrico. A corrosão foi avaliada mediante a determinação da taxa de corrosão gravimétrica descrito pela ASTM G1:2003.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o ensaio do estado fresco foi encontrado um *slump* de 70 mm ($\pm 10 \text{ mm}$), sendo referência um concreto convencional e não bombeável. A consistência do concreto adotada foi considerada um fluxo com boa condição de mobilidade e fluidez apesar de baixo *slump* se comparado com o concreto usinado e bombeável.

Os resultados da resistência mecânica a compressão axial no estado endurecido para os corpos de prova moldados e desmoldados após 24 h e curados respeitando as idades do concreto são mostrados na Figura 1. O resultado médio para a idade de 28 dias encontrado foi de 42,38 MPa.

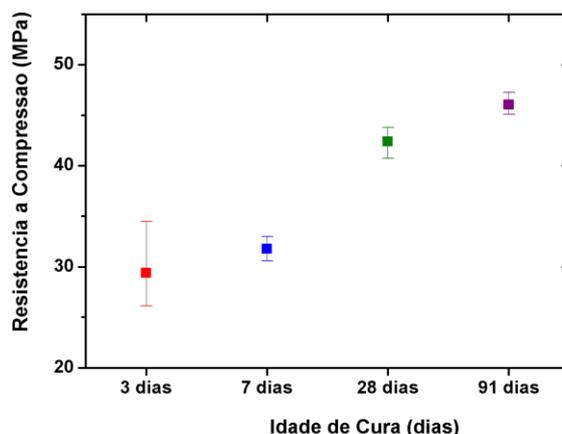


Figura 1: Resistência a Compressão nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.

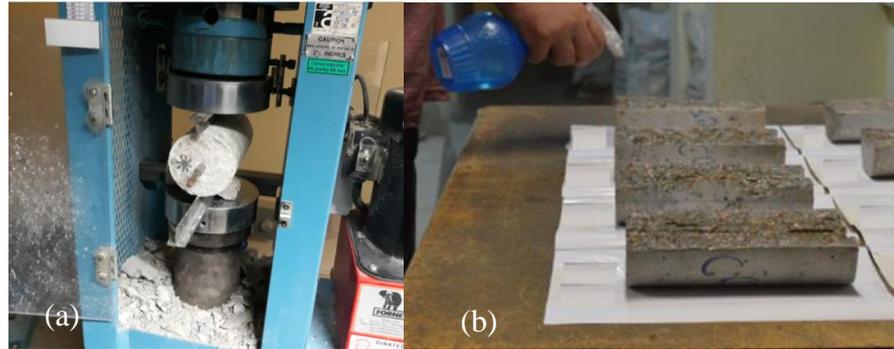


Figura 2: (a) Rompimento do CP (b) Aspersão de AgNO_3 .

No ensaio da penetração dos íons cloretos primeiramente é rompido o corpo de prova e aspergido o nitrato de prata que reage com a amostra (Figura 2). O ensaio colorimétrico é mostrado na Figura 3 (a, b) onde na imagem (a) são os resultados dos 25 ciclos e na imagem (b), dos 56 ciclos. A Figura 3c mostra os resultados da penetração de íons cloretos para 12 meses utilizando a recomendação de cálculo da NT BUILD 492.

Na imagem a parte esbranquiçada, mostra a presença de íons cloretos livres onde há a precipitação de íons cloreto de prata já na parte marrom há a formação do óxido de prata, livre de cloretos.

Os resultados médios encontrados para os períodos estudados foram de aproximadamente 1,8 cm aos 6 meses de penetração acelerada e 2,57 cm após 12 meses.



Figura 3: Ensaio Colorimétrico (a, b, c).

Os resultados da taxa de corrosão gravimétrica com a remoção dos produtos oxidados na barra de aço em uma solução a base de ácido clorídrico pela técnica de perda de massa preliminares encontrados foram de uma redução aproximadamente de 0,361%, para o período de 6 meses e de aproximadamente de 0,472% para o período de 12 meses demonstrando a velocidade do desenvolvimento do processo corrosivo.

4. CONCLUSÕES

No ensaio da penetração dos cloretos através do método colorimétrico permitiu estudar o aumento da profundidade de penetração de cloretos na amostra de concreto armado após um período de 12 meses, onde através do indicador fica evidente a migração do agente agressivo no interior do concreto pelo transporte da água contendo íons cloreto. A norma brasileira sobre projetos de concreto evidencia limites para garantir durabilidade do material. Os resultados demonstram que, mesmo os corpos de prova respeitando os limites para classe de agressividade forte (meio marítimo) os parâmetros de relação água/cimento, resistência mecânica e cobrimento

não confere necessariamente durabilidade à estrutura. No período de um ano, houve penetração de mais de 65% dos íons cloreto, ficando explícito, que a ação a intemperes causa a degradação da estrutura, a perda do desempenho mecânico e provocando o processo de corrosão da armadura.

Analisando os resultados gravimétricos, em 6 meses houve um acréscimo de redução de massa de mais de 30%, onde nas extremidades inferior e superior das amostras já fica evidenciado picos de corrosão na armadura representando uma situação crítica no processo de corrosão do concreto e durabilidade do material.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto–Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

ZHANG, Y.; ZHANG, J.; LUO, W.; WANG, J.; SHI, J.; ZHUANG, H.; WANG, Y. Effect of compressive strength and chloride diffusion on life cycle CO₂ assessment of concrete containing supplementary cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 450-458, 2019.

THEISS, A. F. **A Avaliação da Corrosão do Aço em Concreto com Adição de Inibidor Migratório de Corrosão Frente à Ação de Íons Cloreto**. 2019. Dissertação. (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina.

ABO ALARAB, L. A.; POURSAEE, A.; ROSS, Brandon E. An experimental method for evaluating reinforcement corrosion in cracked concrete. **Journal of Structural Integrity and Maintenance**, v. 4, n. 1, p. 43-50, 2019.

LORETO, G.; DI BENEDETTI, M.; DE LUCA, A.; NANNI, A. Assessment of reinforced concrete structures in marine environment: a case study. **Corrosion Reviews**, v. 37, n. 1, p. 57-69, 2019.

HELENE, P.; GUIGNONE, G.; Vieira, G.; RONCETTI, L.; MORONI, F. Avaliação da penetração de cloretos e da vida útil de concretos autocicatrizantes ativados por aditivo cristalino. **RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 11, n. 3, 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2016.

TANG, L.; SØRENSEN, H. E. Precision of the Nordic test methods for measuring the chloride diffusion/migration coefficients of concrete. **Materials and Structures**, v. 34, n. 8, p. 479, 2001.

FRANÇA, C. B. **Avaliação de cloretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata**. 2011. Dissertação. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco.

REAL, L. V.; OLIVEIRA, D. R. B.; SOARES, T.; MEDEIROS, M. H. F. Método colorimétrico por aspersión de nitrato de prata para laevaluación de lapenetración de cloruro en concreto: estado del arte. **Revista Alconpat**, v. 5, n. 2, p. 151-161, 2015.