

Avaliação do processo de corrosão em armaduras comuns e galvanizadas

Taíssa Guedes Cândido^[1], Gibson Rocha Meira^[2], Márcia Suzanna Dutra de Abreu^[3]

[1] taissaguedes1@hotmail.com. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). [2] gibsonmeira@yahoo.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). [3] marciasuzanna@hotmail.com. Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

RESUMO

A corrosão é uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado. Devido a isso, várias tecnologias vêm sendo desenvolvidas para reduzir a incidência da corrosão nas armaduras. A galvanização à quente das barras tem sido apontada como uma alternativa viável para estruturas submetidas a meios de elevada agressividade. Apesar de apresentar vantagens significativas sobre as armaduras convencionais, como o incremento do período de iniciação da corrosão, ainda há uma carência de informações sobre o desempenho dessas barras frente à ação dos cloretos. Diante desse cenário, esta pesquisa avaliou o comportamento eletroquímico de barras galvanizadas e não galvanizadas, submetidas à diferentes alcalinidades. O seu desempenho foi verificado frente à carbonatação e à ação dos íons cloretos, em distintas concentrações. Os resultados demonstraram que diante da baixa alcalinidade, a armadura comum inicia o processo de corrosão, enquanto que a armadura galvanizada se manteve passiva. Porém, para meios muito alcalinos, o aço carbono demonstrou ser mais indicado. Além disso, diante da ação dos cloretos, apenas a armadura em aço despassivou quando se alcançou uma relação $[Cl^-]/[OH^-]$ de 0,5 na solução. Outras concentrações de cloretos estão sendo estudadas até alcançar o limite crítico de cloretos.

Palavras-chave: Armadura galvanizada; Carbonatação; Cloretos; Corrosão.

ABSTRACT

Corrosion is one of the main causes of reinforced concrete structures damages. This way, several technologies have been developed focused on reducing reinforcement corrosion incidence. Hot-deep galvanized bars have been seen as a suitable alternative to structures subjected to high aggressiveness media. Despite presenting significant advantages over carbon steel, like the increase of corrosion initiation period, there is still a lack of information about the performance of these bars against chlorides action. Considering this scenario, this work analyzed the electrochemical behaviour of hot-deep galvanized bars and non-galvanized bars subjected to media with different alkalinities. It was verified the performance of these bars when subjected to carbonated media and to chlorides action considering different concentrations. Results show that in low alkalinity media carbon steel starts the corrosion process while galvanized bars remained passive. However, in high alkalinity media, carbon steel demonstrated to be more suitable. Moreover, considering chlorides action, only carbon steel despassivated when the ratio $[Cl^-]/[OH^-]$ of 0,5 was reached in the solution. Other chloride concentrations are being studied up to reach the critical chloride concentration.

Keywords: Galvanized reinforcement; Carbonation; Chlorides; Corrosion.

1 Introdução

O crescimento da construção civil impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias que visam melhorar o desempenho das construções durante sua vida útil. Isso porque, além da preocupação com os impactos ambientais causados pela indústria da construção, os custos de manutenção envolvidos são bastante significativos. Essas despesas têm os seus valores potencializados de acordo com o momento em que é realizada a intervenção. Segundo Meira e Padaratz (2002), os custos de uma única manutenção em uma estrutura com avançada deterioração podem alcançar a ordem de 40% dos custos de execução da parcela da estrutura atacada.

Nesse cenário, buscaram-se alternativas para minimizar as manifestações patológicas relacionadas com a corrosão das armaduras, que é uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado. Esse processo pode ser desencadeado tanto pela ação do gás carbônico como pelos cloretos. À medida que o CO_2 penetra no concreto, ocorrem reações químicas que levam a redução do pH do concreto, que se situa acima de 12,5, para valores próximos a 8 (TUUTTI, 1982). Devido a essa redução na alcalinidade, há uma desestabilização da película de passivação na armadura comum, dando início às reações de corrosão. Os íons cloretos, presentes em zonas de atmosfera marinha, penetram no concreto e ao alcançarem as armaduras, em conjunto com água e oxigênio, rompem, pontualmente, a capa passiva, desencadeando a corrosão (MEIRA, 2017). O período de tempo necessário para esses agentes agressivos penetrarem no concreto e despassivar a armadura é denominado de período de iniciação da corrosão, vindo em seguida, a propagação da corrosão.

Visando aumentar a resistência da armadura aos agentes agressivos, surge então, o processo de galvanização, que consiste na aplicação de uma camada de zinco sobre a armadura protegendo-a. Como o zinco é eletroquimicamente mais anódico que o ferro, o oxida-se primeiro protegendo o ferro contra a corrosão através de uma proteção catódica (DEXTER, 2004).

Numerosos estudos já foram dedicados à determinação do teor crítico de cloreto para a despassivação do aço no concreto armado, mas ainda não existe um consenso para a definição deste limite. Uma das razões encontradas, para tal dispersão, é o grande número de variáveis que influenciam nesse

limite crítico para despassivação. Outro motivo, é a falta de concordância para a definição desse limite, seja nos parâmetros determinantes, desde a observação visual, o potencial de corrosão e corrente de corrosão, ou na expressão do limite, como a razão $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$, o percentual em relação à massa de cimento ou concreto (ALONSO *et al.*, 2001).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho é investigar a influência do íon cloreto no mecanismo de despassivação do aço galvanizado em meio simulando a solução de poros de concreto, o que pode auxiliar em uma melhor compreensão no comportamento do aço galvanizado no concreto frente ao processo de corrosão.

2 Armaduras galvanizadas

Com o intuito de melhorar a resistência à corrosão do aço carbono, a utilização do aço galvanizado por imersão a quente vem se tornando mais comum em estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos (YEOMANS, 2004; BERTOLINI *et al.*, 2003; ROVENTI *et al.* 2014). Consequentemente, um grande número de pesquisas vem se desenvolvendo para analisar o comportamento desse material no concreto frente ao processo de corrosão.

Algumas dessas pesquisas aborda a influência da variação do pH do concreto na corrosão do aço galvanizado, onde resultados apontaram que tanto o processo de passivação da armadura quanto os produtos oriundos da corrosão variaram de acordo com nível o pH (MACÍAS; ANDRADE, 1987a, 1987b; YEOMANS, 2004). Outros estudos realizados, em soluções simulando a fase líquida do concreto e em matriz de concreto (GONZALEZ; ANDRADE, 1982; MAAHN; SORENSEN, 1986; FARINA; DUFFÓ, 2007) indicaram que o aço galvanizado permaneceu passivo mesmo após a carbonatação do concreto, com uma taxa de corrosão da mesma ordem de grandeza encontrada em concreto não carbonatado, enquanto que o aço comum, em concreto carbonatado, corroeu a uma taxa 10 vezes maior.

Outro quesito abordado foi o comportamento do aço galvanizado na presença de íons cloreto, onde alguns pesquisadores analisaram o comportamento do aço galvanizado em soluções que simulavam os poros do concreto com e sem a presença de íons cloreto, sendo constatado que a concentração dos íons cloreto acelerava o processo de despassivação da armadura (TOMLINSON; BROWN, 1986; HARAN *et al.*, 2000). Outros compararam os valores do teor

crítico de cloretos entre o aço carbono comum e o aço galvanizado, mostrando que as barras de aço galvanizado apresentaram um valor crítico superior ao do aço carbono, além de menores taxas de corrosão (BAUTISTA; GONZALEZ, 1995; DARWIN *et al.*, 2009).

No entanto, nos estudos realizados, ainda não se chegou em um consenso a respeito do teor crítico de cloretos para o aço galvanizado com a literatura apresentando inúmeras incertezas a esse respeito. Tendo em vista que esse aspecto é fundamental para o entendimento do papel do revestimento galvanizado no desempenho dessas armaduras no concreto, análises em barras de aço galvanizadas e de aço comum foram realizadas, em meio líquido com distintas alcalinidades e submetidas a diferentes concentrações de cloretos.

3 Método da pesquisa

3.1 Elaboração e monitoramento das células

Para verificar o comportamento das armaduras, células com soluções variando o pH foram elaboradas, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Soluções utilizadas nas células.

Solução	Reagentes	pH
I	Hidróxido de Cálcio Saturado (Ca(OH) ₂)	12,6
II	Hidróxido de Cálcio Saturado (Ca(OH) ₂) + 0,15M de Hidróxido de Potássio (KOH)	13,1
III	Hidróxido de Cálcio Saturado (Ca(OH) ₂) + 0,20M de Hidróxido de Potássio (KOH)	13,2
IV	Hidróxido de Cálcio Saturado (Ca(OH) ₂) + 0,25M de Hidróxido de Potássio (KOH)	13,3
V	Hidróxido de Cálcio Saturado (Ca(OH) ₂) + 0,3M de Hidróxido de Potássio (KOH)	13,5

Fonte: Dados dos autores.

Para cada nível de pH, analisou-se o comportamento de uma armadura de aço carbono comum e uma armadura galvanizadas. Armaduras de aço CA-50 foram utilizadas, com segmentos de 100 mm e diâmetro de 6,3 mm.

As armaduras de aço comum passaram, inicialmente, por um processo de limpeza química, seguindo as recomendações da norma americana ASTM G1-03:2017 (AMERICAN SOCIETY FOR

TESTING AND MATERIALS, 2017). Depois de limpas, foram pintadas com resina epóxi, deixando uma longitude de 30 mm em exposição. As armaduras galvanizadas não passaram pelo processo de limpeza, apenas pela delimitação de exposição com a pintura de resina epóxi.

Cada célula continha uma barra de grafite, trabalhando como contra eletrodo e uma barra de aço como eletrodo de trabalho, conforme a configuração recomendada na literatura (KAESCHKE, 1959; FERREIRA *et al.*, 2017). Na parte superior das barras e do grafite, fios de cobre foram colocados para realização das medidas eletroquímicas. Em cada célula, foi feita uma abertura para a entrada do eletrodo de referência utilizado para as medidas eletroquímicas e, nas células carbonatadas, uma abertura para entrada de CO₂. A Figura 1 ilustra a configuração da célula de ensaio.

O monitoramento das barras nas células foi realizado por meio da técnica eletroquímica de resistência de polarização com compensação da queda ôhmica, com medidas do potencial de corrosão em circuito aberto, mantendo-se todo o conjunto envolto em uma gaiola de Faraday. Para isso, um potenciostato de bancada foi utilizado, modelo GILL AC da ACM Instruments. Das várias técnicas utilizadas para estudo de corrosão, a técnica de polarização linear é a mais aplicada devido à sua rapidez e facilidade de interpretação de dados (ALVES *et al.*, 2012), sendo recomendada pela norma ASTM G96 – 90:2013 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013). A Figura 2, na página seguinte, ilustra a execução do ensaio e a disposição dos eletrodos na célula.

Figura 1 – Configuração da célula de ensaio

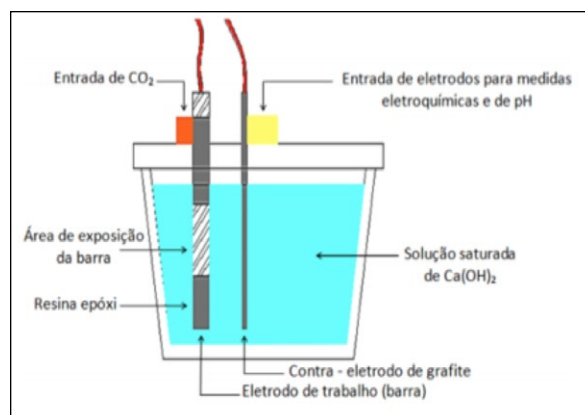
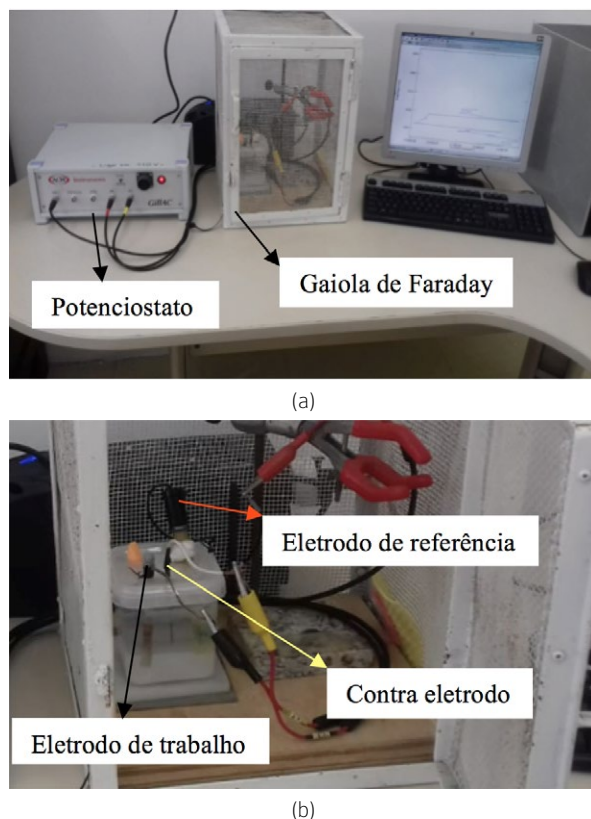


Figura 2 – Setup experimental para o teste de corrosão. a) Execução do ensaio. b) Disposição dos eletrodos.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

As leituras foram realizadas em intervalos regulares de tempo, durante todas as etapas do estudo: estabilização inicial com formação da película de passivação, carbonatação das soluções e comportamento posterior à carbonatação, adição de cloretos. Leituras de potencial de corrosão mais eletronegativas que -350 mV (ESC) foram utilizadas como critério para identificar o momento da despassivação, conforme recomenda a literatura (CASCUDO, 1997; ANGST; VENNESLAND, 2008).

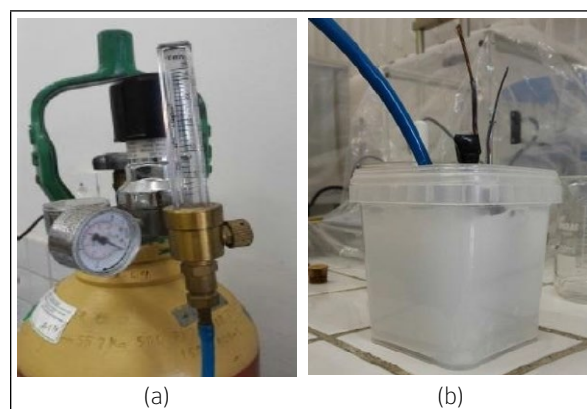
3.2 Carbonatação das soluções e controle do teor de cloretos

Inicialmente, o monitoramento eletroquímico foi realizado sem introdução de nenhum agente agressivo.

Em seguida, a carbonatação acelerada foi realizada apenas na solução saturada de hidróxido de cálcio (pH de 12,6). Esse processo foi realizado conforme recomendado por Carvalho (2018), com a introdução

de gás carbônico (CO_2) no interior da célula, como ilustra a Figura 3. O gás utilizado era composto por 95% de gás nitrogênio e 5% de gás carbônico. Durante esse processo, o pH da célula foi monitorado. Ao chegar no pH próximo de 8,5 a introdução do gás foi interrompida. Após a carbonatação, continuou-se o monitoramento eletroquímico dessa armadura.

Figura 3 – a) Saída do gás no cilindro. b) Carbonatação.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

Por fim, a introdução de cloreto de sódio (NaCl) nas demais células foi iniciada. O objetivo dessa adição é a investigação do comportamento das armaduras de aço galvanizado e não galvanizado, diante do ataque de cloretos.

Certo limite de íons cloreto em relação à concentração de hidroxilas despassivam a superfície do aço promovendo a corrosão. Desse modo, essa etapa da pesquisa buscou identificar a concentração crítica de cloretos, ou seja, o quantitativo máximo de cloretos que a armadura consegue suportar até o início da sua despassivação, iniciando, assim, o processo corrosivo.

Inicialmente, adicionou-se NaCl de forma a deixar a solução com uma relação $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ de 0,1. Uma vez finalizada essa primeira adição e a solução sido homogeneizada, as células foram monitoradas eletroquimicamente até que as medidas ficassem estabilizadas. Em seguida, mais uma adição era realizada para chegar a uma relação $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ de 0,2, seguindo-se do monitoramento eletroquímico até a estabilização. Esse procedimento de acréscimo foi repetido de forma sucessiva até alcançar-se a relação $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ de 0,5.

4 Resultados da pesquisa

As barras na solução saturada de hidróxido de cálcio foram monitoradas sem sofrer carbotanação (Figura 4, na página seguinte) e com o processo de carbonatação (Figura 5, na página seguinte).

Pode-se perceber que no pH de 12,6, ambas as barras apresentam potencial de corrosão compatíveis com a passivação. Esse resultado já é esperado, pois nessa alcalinidade que representa a do concreto comumente utilizado, tanto as barras de aço carbono como as de aço galvanizado são capazes de formar e manter estável a película de passivação (CASCUDO, 1997; MACÍAS; ANDRADE, 1990). Essa película é formada por uma rápida e extensa reação eletroquímica, que gera produtos de corrosão agrupados em uma fina camada aderida à superfície do aço. A possibilidade de formar essa película, em determinado pH, varia de acordo com o tipo de metal (POUBAIX, 1987).

Após a carbonatação, no pH de 8,5, a barra de aço comum fica com potencial em torno de -600 mV (ESC), indicando sua despassivação e, conseqüentemente, o início do processo de corrosão, que foi comprovado com a análise visual dos produtos de corrosão. Isso está de acordo com o comportamento do aço carbono, que em meios de baixa alcalinidade, perde a estabilidade da sua película de passivação (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Já a barra galvanizada, nesse tipo de exposição, mantém as medidas de potencial de corrosão em torno de -200 mV (ESC), se mostrando indiferente à carbonatação. Esse resultado corrobora com outros estudos que já indicaram que a armadura galvanizada permanece passiva após a carbonatação, sendo que o seu desempenho depende das características da capa galvanizada (MAAHN; SORENSEN, 1986; ANDRADE; MACÍAS, 1988; FARINA; DUFFÓ, 2007).

Antes da introdução dos íons cloretos, todas as células foram monitoradas por no mínimo 12 semanas. Os resultados do potencial de corrosão das

barras galvanizadas em diferentes alcalinidades estão representados na Figura 6, apresentada na página 154.

Foi verificado que em meio muito alcalino (pH = 13,5), o aço galvanizado apresentou medidas de potencial de aproximadamente -1000mV (ESC), indicando que não ocorreu a sua passivação, o que foi confirmado a partir de análise visual da armadura. Isso está de acordo com Macías e Andrade (1990), que afirmaram que para pHs a partir de 13,3 não há formação eficiente da capa passiva nas armaduras galvanizadas.

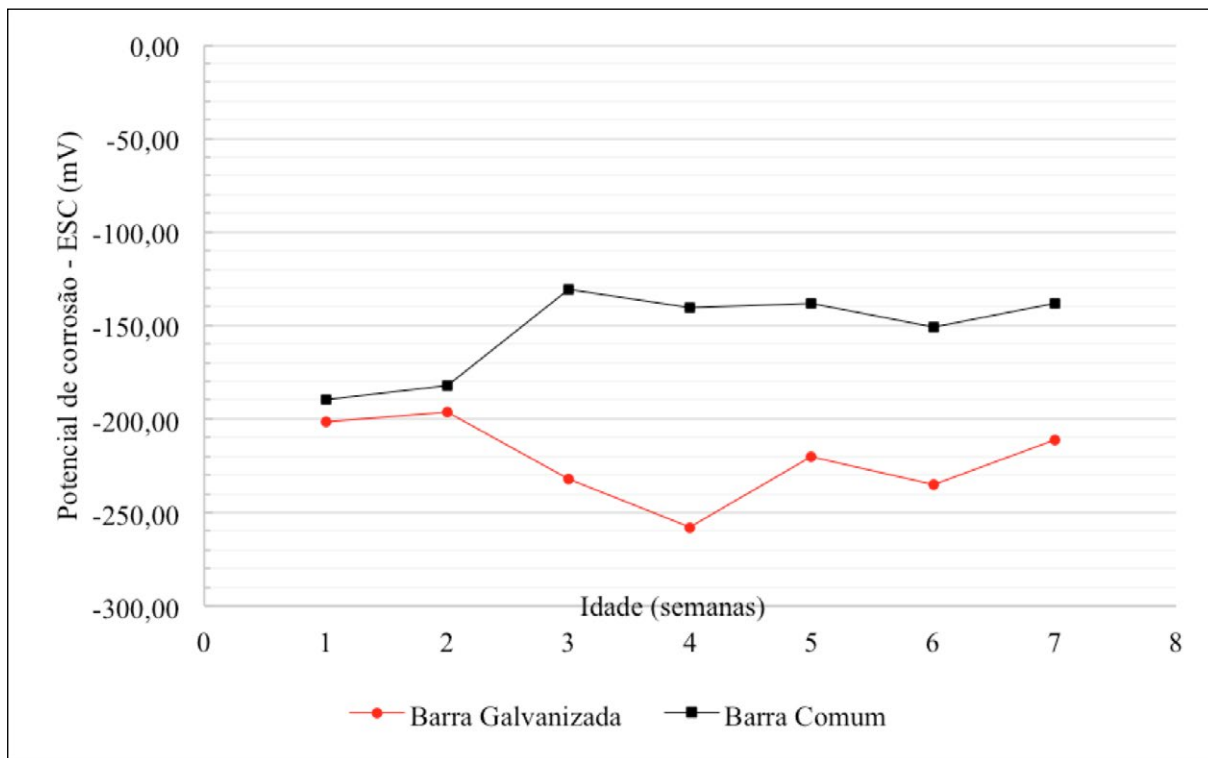
A Figura 7, na página 154, ilustra a média do potencial de corrosão do aço galvanizado com as diferentes concentrações de cloretos. Observa-se que até a relação $[Cl^-]/[OH^-]$ de 0,5 não ocorreu despassivação de nenhuma barra. Também se verifica que as armaduras com pH de 13,2 e 13,3 apresentaram comportamento semelhantes.

A Figura 8, na página 155, ilustra a média do potencial de corrosão do aço comum com as diferentes concentrações de cloretos.

Os resultados demonstram que a barra comum, no pH de 13,1, despassivou quando se alcançou uma relação $[Cl^-]/[OH^-]$ de 0,5. Nos demais pHs, mais alcalinos, as barras se mantiveram passivadas.

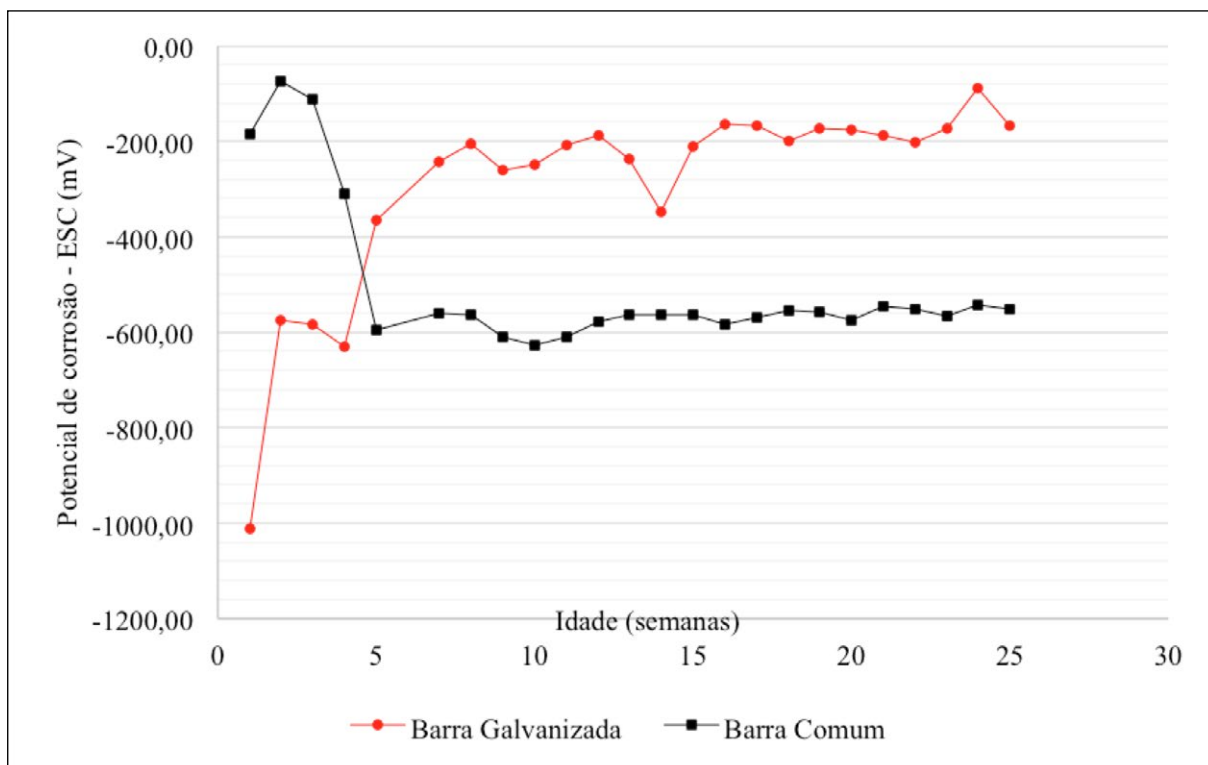
Para melhor visualizar o comportamento das barras galvanizadas comparadas com as barras de aço comum, foi gerado o gráfico da Figura 9, na página 155. Observa-se que para a mesma alcalinidade, em geral, as armaduras galvanizadas apresentam potenciais mais eletronegativos que as armaduras comuns. De acordo com Tavares (2006), isso se explica pelo fato do zinco ser um metal mais anódico e ativo que o aço, tendo assim um potencial de equilíbrio mais eletronegativo, servindo, neste caso, como um ânodo de sacrifício para aço e protegendo-o contra a corrosão.

Figura 4 – Monitoramento das barras no pH 12,6 (sem carbonatação).



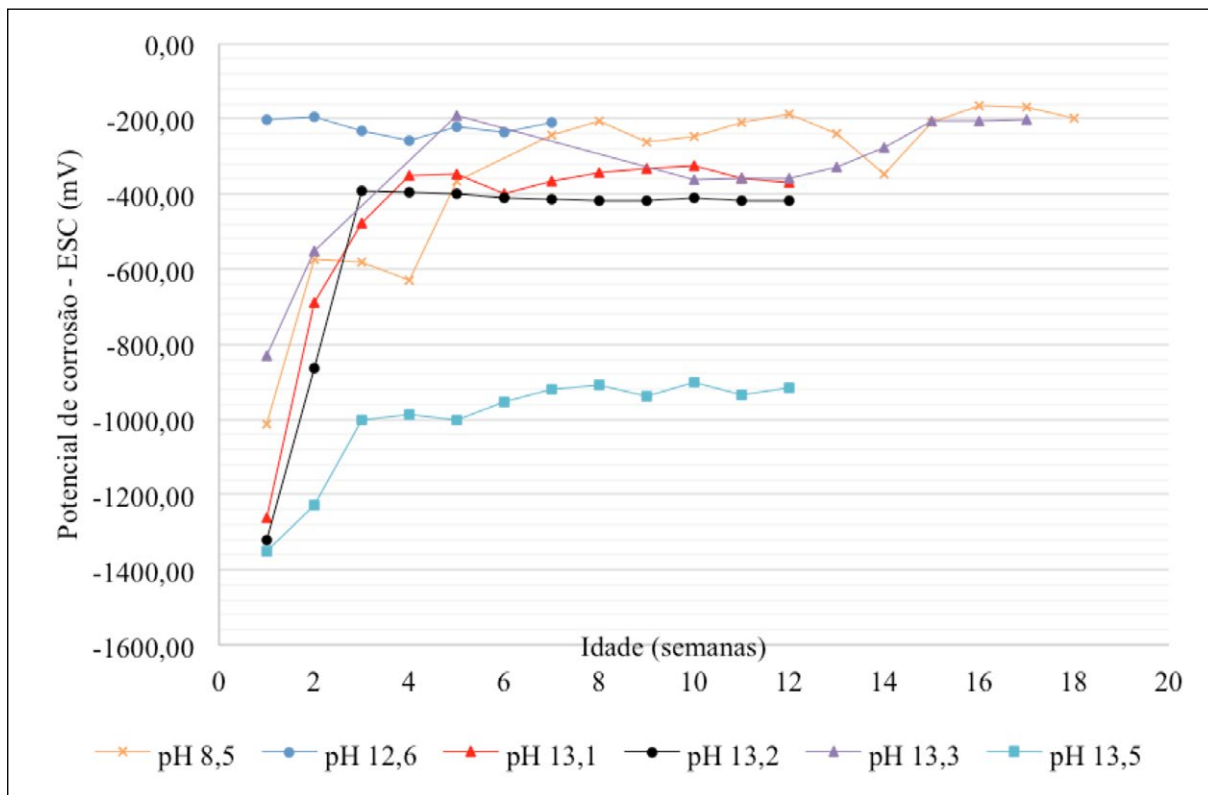
Fonte: Dados dos autores.

Figura 5 – Monitoramento das barras no pH 8,5 (com carbonatação).



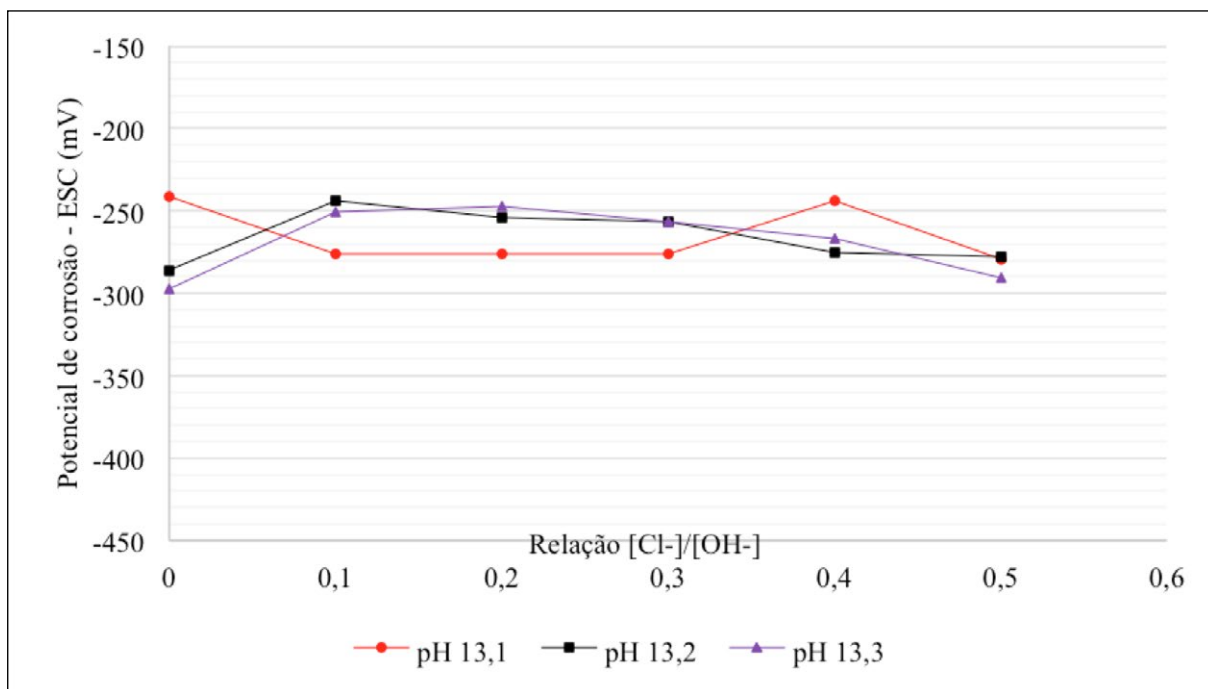
Fonte: Dados dos autores.

Figura 6 – Potencial de corrosão das barras galvanizadas em distintas alcalinidades.



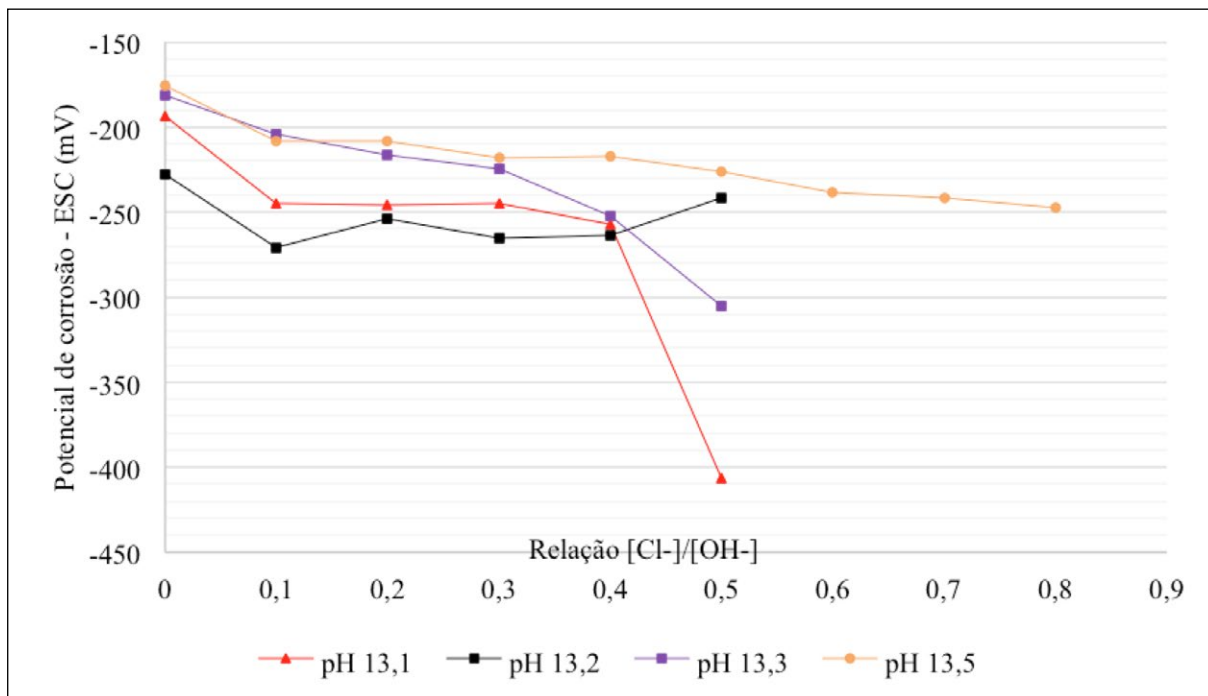
Fonte: Dados dos autores.

Figura 7 – Potencial de corrosão médio das barras galvanizadas com diferentes concentrações de cloretos.



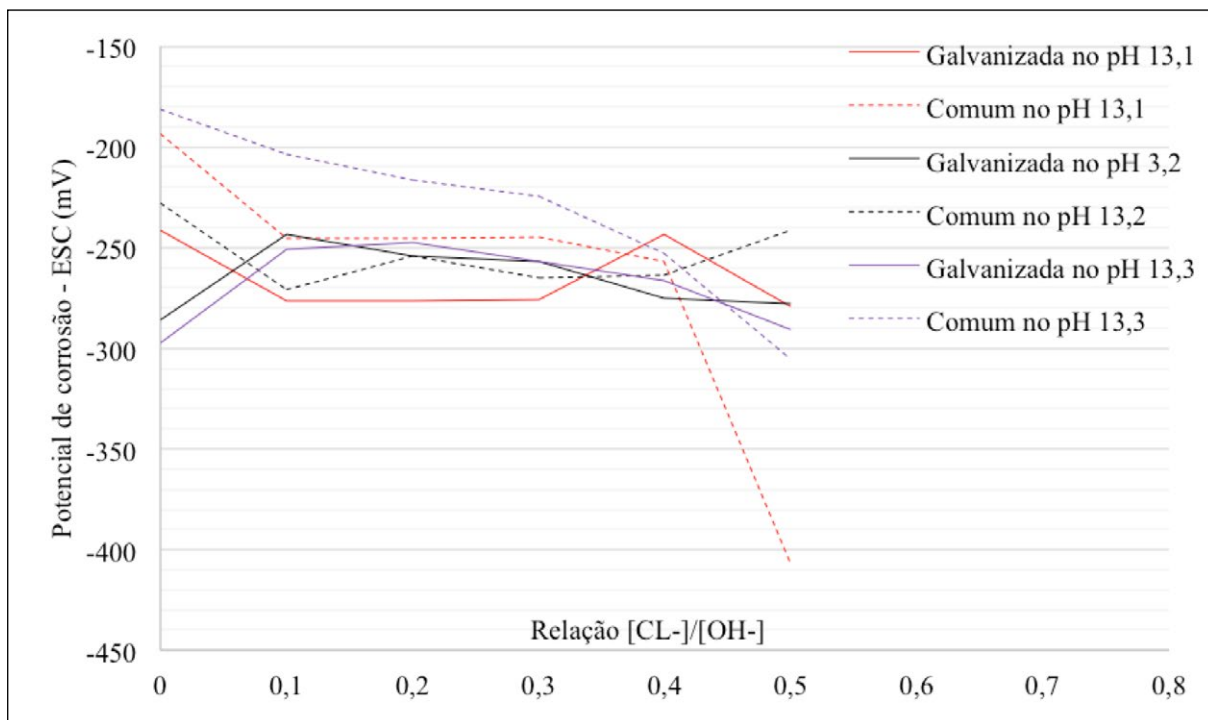
Fonte: Dados dos autores.

Figura 8 – Potencial de corrosão das barras de aço carbono com diferentes concentrações de cloretos.



Fonte: Dados dos autores.

Figura 9 – Potencial de corrosão das barras galvanizadas e comuns com diferentes concentrações de cloretos.



Fonte: Dados dos autores.

5 Considerações finais

Dos resultados obtidos pode-se concluir que para a alcalinidade comum do concreto, em torno de 12,6, ambas as armaduras, galvanizadas e comuns, ficaram passivadas.

Na situação de carbonatação, a armadura galvanizada demonstrou sua capacidade de proteção contra a corrosão, enquanto que a armadura de aço comum apresenta condição ativa de corrosão.

Apesar das armaduras galvanizadas apresentarem potencial mais negativo do que a armadura de aço comum, a iniciação da corrosão provocada pela ação dos cloretos só foi verificada nessa última, no pH de 13,1. Esse resultado pode indicar também que quanto menor a alcalinidade do meio, maior é a susceptibilidade da armadura comum sofrer corrosão pela ação dos íons cloretos. Para os níveis de concentração de cloretos estudados, não foi possível verificar a despassivação das armaduras galvanizadas.

REFERÊNCIAS

ALONSO, C. *et al.* Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 7, p. 1047-1055, 2000.

ALVES, H. G. *et al.* Aplicação da técnica de polarização linear para detectar corrosão em concreto armado atacado por 4 e Cl⁻. **Revista de Química Industrial**, Ano 80, n. 736, p. 18-23, 2012.

ANDRADE, M. C.; MACIAS, A. Galvanized reinforcements in concrete. In: WILSON, A. D.; NICHOLS, J. W.; PROSSER, H. J. (Ed.). **Surface coatings-2**. Dordrecht (Netherlands): Springer, 1988. p. 137-182.

ANGST, U.; VENNESLAND, O. Critical chloride content in reinforced concrete: state of the art. In: ALEXANDER, M. G. (ed.) **Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II**. Taylor & Francis, 2008. p. 311- 317.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G96-90: 2013. **Standard guide for online monitoring of corrosion in plant equipment (electrical and electrochemical methods)**. West Conshohocken (United States): ASTM International, 2013.

_____. ASTM G1-03: 2017. **Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens**. West Conshohocken (United States): ASTM International, 2017.

BAUTISTA, A.; GONZALEZ, J. A. Analysis of the protective efficiency of galvanizing against corrosion of reinforcements embedded in chloride contaminated concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 2, p. 215-224, 1996.

BERTOLINI, L. *et al.* **Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair**. Weinheim (Germany): Wiley-VCH, 2003.

CASCUDO, O. **O Controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo (Brasil): Pini, 1997.

CARVALHO, M. R. **Estudo da eficiência da realcalinização na repassivação de armaduras**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)– Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (Brasil), 2018.

DARWIN, D. *et al.* Critical chloride corrosion threshold of galvanized reinforcing bars. **Material Journal**, v. 106, n. 2, p. 176-183, 2009.

DEXTER, S. C. **Galvanic Corrosion**. MAS note from the University of Delaware Sea Grant Marine Advisory Service. 2004. 2 p.

FARINA, S. B.; DUFFÓ, G. S. Corrosion of zinc in simulated carbonated concrete pore solutions, **Electrochimica Acta**, v. 52, n. 16, p. 5131-5139, 2007.

FERREIRA, P. R. R. *et al.* Influência do grau de corrosão das armaduras na eficiência do método de realcalinização para tratamento de estruturas de concreto carbonatada. **HOLOS**, ano 33, v. 7, p. 69-80, 2017.

GONZALEZ, J. A.; ANDRADE, C. Effect of carbonation, chlorides and relative ambient humidity on the corrosion of galvanized rebars embedded in concrete. **British Corrosion Journal**, v. 17, n. 1, p. 21-28, 1982.

HARAN, B. S. *et al.* Studies on galvanized carbon steel in Ca(OH)₂ solutions. **Materials Journal**, v. 97, n. 4, p. 425-431, 2000.

KAESCHE, H. The detection of corrosion danger to steel reinforcement due to admixtures in concrete. **Zement-Kalk-Gips**, v. 12, n. 7, p. 289-305, p. 1959.

MAAHN, E.; SORENSEN, B. The influence of microstructure on the corrosion properties of hot-dip galvanized reinforcement in concrete. **Corrosion**, v. 42, n. 4, p. 187-196, 1986.

MACÍAS A.; ANDRADE, C. The behaviour of galvanized steel in chloride-containing alkaline solutions-I. The influence of the cation. **Corrosion Science**, v. 30, n. 4-5, p. 393-407, 1990.

MACÍAS A.; ANDRADE, C. Corrosion of galvanized steel reinforcements in alkaline solutions. Part 1: electrochemical results. **British Corrosion Journal**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 1987a.

MACÍAS A.; ANDRADE, C. Corrosion of galvanized steel reinforcements in alkaline solutions. Part 2: SEM study and identification of corrosion products. **British Corrosion Journal**, v. 22, n. 2, p. 119-129, 1987b.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. A. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo (Brasil): IBRACON, 2008.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J. Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC 2002), 9., 2002, Foz do Iguaçu (Brasil). **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p. 1425- 1432.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa (Brasil): Ed. IFPB, 2017.

POURBAIX, M. **Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions**. Houston (United States)/Brussels (Belgium): National Association of Corrosion Engineers/CEBELCOR, 1974.

ROVENTI, G. *et al.* Corrosion resistance of galvanized steel reinforcements in carbonated concrete: effect of wet-dry cycles in tap water and in chloride solution on the passivating layer. **Cement and Concrete Research**, v. 65, p. 76-84, 2014.

TAVARES, L. M. **Estudo do processo de corrosão por íons cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas**. 2006. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais)– Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), 2006.

TOMLINSON, W. J.; BROWN, S. A. Corrosion of anodically polarized Zn-Al alloys in saturated Ca(OH)₂ containing Cl⁻. **Surface and Coatings Technology**, v. 27, n. 1, p. 95-100, 1986.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm (Sweden): Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

YEOMANS, S. R. **Galvanized steel reinforcement in concrete**. Canberra (Australia): Elsevier, 2004.