

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

**Estudo da formação de par galvânico entre armaduras de  
aço-carbono e aço inoxidável de uma mesma estrutura de concreto**  
Juliana Lopes Cardoso<sup>a</sup>, Mayara Stecanella Pacheco<sup>b</sup>, Renata Angelon Brunelli<sup>c</sup>,  
Adriana de Araujo<sup>d</sup>, Jose Luis Serra Ribeiro<sup>e</sup>, Zehbour Panossian<sup>f</sup>

---

## Resumo

Esse trabalho descreve ensaios de corrosão com barras de aço inoxidável *lean* duplex UNS S32304 conectadas eletricamente a barras de aço-carbono, ambas embutidas em concreto ou imersas em solução simulada de água de poro, na presença de contaminação com íons cloreto. Ensaios com barras de aço inoxidável AISI 304 conectadas a barras de aço-carbono também foram feitos, como um material de referência para comparação. Esses três aços também foram estudados individualmente para comparação. A configuração do corpo de prova de concreto e do ensaio em solução foram estabelecidos com base nas normas ASTM A955:2015 e ASTM G109:2007, respectivamente.

**Palavras-chave:** aço inoxidável *lean* duplex, aço-carbono, concreto armado, armadura, ambiente marinho.

---

## Introdução

Armaduras de aço inoxidável são utilizadas em estruturas instaladas em condições de alta agressividade, como atmosferas marinhas. O aço inoxidável é preferido como material de armaduras quando a vida útil requerida para a estrutura é superior a 100 anos ou existem restrições de manutenção devido à inacessibilidade da estrutura, alto custo ou risco à população (1,2,3,4).

Devido ao alto custo inicial da obra, o uso de armaduras de aço inoxidável é restrito à malha mais externa da estrutura de concreto armado, diretamente sujeita à contaminação por íons cloreto, enquanto que nas outras áreas são utilizadas armaduras de aço-carbono (5). Como esses dois metais estão em contato elétrico internamente no concreto, existe a preocupação da ocorrência de corrosão galvânica entre o aço inoxidável e o aço-carbono. Este trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de ocorrência de corrosão galvânica entre o aço inoxidável *lean* duplex UNS S32304 e o aço-carbono (6).

---

<sup>a</sup> Dra., Bacharela em Engenharia Elétrica – Pesquisadora no Laboratório de Corrosão e Proteção (LCP) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pela Fundação de apoio ao IPT (FIPT) e Professora da Faculdade de tecnologia (FATEC) Osasco (jcardoso@ipt.br)

<sup>b</sup> Bacharela em Engenharia Mecânica, Bolsista de mestrado no LCP - IPT pela FIPT

<sup>c</sup> Bacharela em Química, Técnica no LCP - IPT pela FIPT

<sup>d</sup> Me., Bacharela em Arquitetura, Pesquisadora no LCP - IPT

<sup>e</sup> Dr., Bacharel em Engenharia Civil, Pesquisador visitante no LCP - IPT

<sup>f</sup> Dra., Bacharela em Física – Diretora de Inovação do IPT e Professora convidada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) – Departamento de Materiais e Metalurgia (zep@ipt.br)

Para alcançar o objetivo, foram avaliados os pares galvânicos AISI 304/AC e *lean duplex*/AC, ambos embutidos em concreto e em solução de água de poro, contaminados com íons cloreto. Para isso, foram conduzidos ensaios de corrosão com as barras de aço inoxidável conectadas eletricamente a barras de aço-carbono, ambas as barras embutidas em concreto ou imersas em solução simulada de água de poro, na presença de contaminação com íons cloreto. Esses três aços também foram estudados individualmente para comparação.

## Metodologia

Os ensaios em concreto foram baseados nos ensaios descritos nas normas ASTM A955:2015 e ASTM G109:2007 (7,8), que descrevem a montagem de corpos de prova de concreto para estudos de pares galvânicos formados entre o mesmo material em contato com o concreto (Figura 1a) em diferentes condições, a saber: metal/concreto contaminado com íons cloreto e saturado (baixo teor de oxigênio); e metal/concreto sem contaminação e mais seco (alto teor de oxigênio) (9). Amostras de armaduras de AISI 304 e *lean duplex* UNS S32304 foram adquiridas de dois fornecedores europeus e a amostra de AC foi adquirida de um fornecedor nacional.

Os corpos de prova de concreto foram submetidos a ciclos de 28 dias de contaminação com íons cloreto e secagem. A etapa de contaminação consistiu em colocar 400 mL de solução NaCl no recipiente acrílico por duas semanas em temperatura ambiente. Ao final da segunda semana, a queda de potencial no resistor de 100  $\Omega$  foi medida utilizando um multímetro (com resistência interna de 10 M $\Omega$ ). Em seguida, as barras foram desconectadas do resistor para a medida do potencial de circuito (PCA) de B1. A medida de potencial foi feita logo após a desconexão das barras, o que elimina o efeito de queda ôhmica decorrente da circulação de corrente galvânica. Após as medidas, a solução foi removida do recipiente e os corpos de prova permaneceram nessa condição (sem solução) por duas semanas em temperatura ambiente, totalizando um ciclo. Nesse trabalho, são apresentados os resultados de 18 ciclos de ensaios (504 dias).

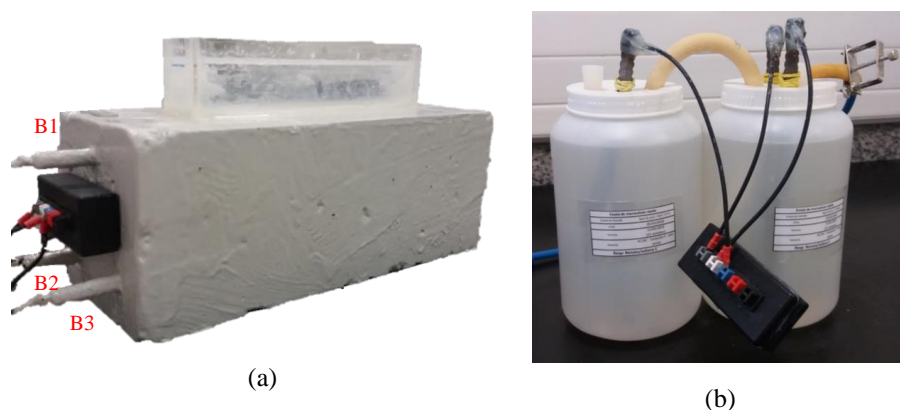


Figura 1: (a) Corpo de prova de concreto. Vista geral, (b) Ensaio de macrocélula acelerada em solução.

---

Também foram realizados ensaios de macrocélula em solução de água de poro, conforme descrito na norma ASTM A955:2015 (7), visando obter indicações da resistência à corrosão dos materiais estudados de forma acelerada (Figura 1b).

O ensaio em solução teve duração de 15 semanas. Medidas de carga acumulada e PCA da barra B1 foram feitas semanalmente. A medida de potencial foi feita logo após a desconexão das barras, o que elimina o efeito de queda ôhmica decorrente da circulação de corrente galvânica. Nesse caso, os valores de PCA eram muito próximos ao do potencial do par B1/B2+B3, pois os ensaios foram feitos em meio com maior condutividade. Lembra-se que é fundamental que o potencial seja medido imediatamente após a desconexão devido à despolarização da interface da barra, apesar dela ocorrer lentamente. Com isso, a polarização do par galvânico não se perde com a desconexão das barras.

A avaliação da formação de par galvânico entre os aços inoxidáveis e o aço-carbono foi feita utilizando os mesmos corpos de prova de concreto e mesmas soluções de água de poro, sendo as barras B1 substituídas por aço inoxidável (AISI 304 ou *lean duplex*) e mantendo as barras B2 e B3 em aço-carbono.

### **Resultados e discussão**

---

Os valores de PCA das barras B1 dos ensaios com aço-carbono, aço inoxidável AISI 304 e aço inoxidável *lean duplex* em concreto indicaram uma tendência inicial para a passivação de todas as barras estudadas. Após 504 dias de ensaio, apenas os corpos de prova contendo apenas barras de AC apresentaram estado ativo de corrosão. Isso sugere que a concentração crítica de íons cloreto para a ruptura da camada passiva dos aços inoxidáveis não foi alcançada até o momento.

Em concreto, quando se compara o potencial do par AISI 304/AC (PCA de B1) com o potencial das barras em separado e após despolarização, a diferença média entre os potenciais dos dois materiais é de 10 mV e o potencial do par fica muito próximo do potencial do AISI 304, indicando que esse par não é efetivo, com tendência do AISI 304 ser o anodo do par. Para o par LN/AC quando se compara o potencial do par (PCA de B1) com o potencial das barras em separado e após despolarização, a diferença média é de 20 mV e o potencial do par fica muito próximo do potencial do LN, indicando que esse par não é efetivo, com tendência do LN ser o catodo do par.

Os ensaios em solução foram complementares aos ensaios em concreto, indicando rapidamente a susceptibilidade à corrosão das barras de AC quando expostas ao meio contaminado com NaCl. Os ensaios com as barras de aço inoxidável mostraram, tanto para o AISI 304, quanto para o *lean duplex*, que não ocorreu corrosão dessas barras, durante os 105 dias de ensaio.

Em solução, os ensaios considerando par galvânico formado entre o AISI 304 e o aço-carbono também indicaram que o AISI 304 é o anodo do par galvânico. Os ensaios em solução, considerando par galvânico formado entre o *lean duplex* e o aço-carbono, indicaram novamente que o *lean duplex* é o catodo do par galvânico.

Por fim, os ensaios em solução apresentaram contaminação por íons cloreto na solução contendo apenas água de poro. Isso ocorreu devido à utilização de KCl na preparação da ponte salina de ágar-ágar. Para evitar essa contaminação, sugere-se o emprego de sulfatos ou uma ponte metálica de platina.

## Conclusão

---

Os resultados obtidos indicaram que ambos os aços-inoxidáveis apresentaram tendência de par galvânico não efetivo, devido à pequena diferença entre o potencial entre eles e o aço-carbono passivo.

## Referências bibliográficas

---

- 1 BADDOO, N. R. Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 64, p. 119-1206, 2008.
- 2 MAGEE, J. H.; SCHNELLI, R. E. Stainless steel rebar for concrete reinforcement: an update and selection guide. **Advanced Materials and Process**, v. 160, p. 43-45, 2002.
- 3 MCGURN, J. F. Stainless steel reinforcing bars in concrete. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.5101&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: fevereiro 2016.
- 4 GEDGE, G. Structural uses of stainless steel: buildings and civil engineering. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 64, p. 1194-1198, 2008.
- 5 KNUDSEN, A. et al. **Cost-effective enhancement of durability of concrete structures by intelligent use of stainless steel**. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CORROSION AND REHABILITATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE. Orlando: FHWA. 1998. p. 8-11.
- 6 QIAN, S. Y.; QU, D. The influence of galvanic coupling on corrosion of carbon steel coupled with stainless steels for use in concrete structures. **ECS Transactions**, v. 16, p. 127-140, 2009.
- 7 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A955**. Standard Specification for Deformed and Plain Stainless-Steel Bars for Concrete Reinforcement. [S.l.], p. 14. 2015.
- 8 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G109**. standard test method for determining effects of chemical admixtures on corrosion of embedded steel reinforcement in concrete exposed to chloride environments. Philadelphia, p. 6. 2007.
- 9 ARAUJO, A. D. et al. Definição e preparação de corpos de prova de concreto armado destinados a ensaios acelerados de corrosão de armaduras. **Revista IPT - Tecnologia e Inovação**, São Paulo, 1, n. 3, dezembro 2016. 22.