



**II CONPESQ**  
**Congresso de Pesquisa,  
Pós-Graduação e Inovação**

**Os novos rumos da ciência pós-pandemia**

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

**ESTUDO COMPARATIVO DO EFEITO DO TEMPO DE  
ENVELHECIMENTO A 475°C NO COMPORTAMENTO  
ELETROQUÍMICO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS  
SUPERDUPLEX ASTM A890M GRAU 5A E 6A**

**Angélica Maria Lucena Gonçalves<sup>1</sup>**

Centro de Ciência e Tecnologia  
Universidade Federal do Cariri  
angelica.goncalves@aluno.ufca.edu.br

**Ana Larissa Soares Cruz<sup>2</sup>**

Centro de Ciência e Tecnologia  
Universidade Federal do Cariri  
larissasoaresd12@gmail.com

**Hillane Mirelle Lopes Ferreira de Lima<sup>3</sup>**

Centro de Ciência e Tecnologia  
Universidade Federal do Cariri  
hillane.lima@ufca.edu.br

## **1 INTRODUÇÃO**

Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas com teor mínimo de 10,5% de cromo, baixo teor de carbono, além da adição de outros elementos de liga, conforme características que se desejam para aplicações específicas. A elevada resistência à corrosão destes aços deve-se à formação de uma película passiva, aderente e transparente, de óxido de cromo, sobre a superfície da liga em extensa variedade de meios. Os aços inoxidáveis tradicionais tem uma vasta aplicação em equipamentos e tubulações, mas não apresentam desempenho satisfatório que combinem resistência mecânica e corrosão por pite para ambientes agressivos, como é o caso de equipamentos usados em plataformas “offshore” e na indústria naval, sendo então necessário o uso de outra categoria de materiais (FLORENCIO *et al.*, 2017).

---

<sup>1</sup> Bolsista do PIBIC/UFCA no Edital N.º 01/2020/PRPI – Chamada PIICT/CNPq, FUNCAP e UFCA.

<sup>2</sup> Bolsista do PIBIC/UFCA no Edital N.º 01/2020/PRPI – Chamada PIICT/CNPq, FUNCAP e UFCA.

<sup>3</sup> Orientadora, Docente do Centro de Ciência e Tecnologia – CCT/UFCA.

Logo, os aços superduplex em especial, aliam uma excelente resistência à corrosão com altos valores de resistência mecânica, maior índice de resistência à corrosão por pites determinado por alguns elementos de liga, além de possuírem elevada tenacidade ao impacto. Estas características são atribuídas a uma fina microestrutura bifásica, composta por ferrita ( $\delta$ ) e austenita ( $\gamma$ ), presentes em proporções semelhantes e por determinados elementos de ligas (PARDAL, 2009; BERGAMI; CRETON, 2014).

Quando esses aços são expostos a temperaturas entre 350°C e 550°C, ocorre a formação da fase alfa linha ( $\alpha'$ ). A formação da fase  $\alpha'$  enriquecida em cromo provoca o endurecimento dos aços por partículas finamente dispersas na própria ferrita original. O surgimento dessa fase é indicado com o aumento da dureza com os tempos de envelhecimento na temperatura de 475°C, a diminuição da tenacidade devido ao aumento da dureza, provoca uma diminuição brusca da resistência ao impacto e da resistência à corrosão (FONTES, 2009; SOLOMON; DEVINE, 1982).

Apesar desses comportamentos da  $\alpha'$  serem conhecidos é importante quantificá-los especialmente levando em questão as diferentes condições de tempos de envelhecimento que irão determinar o grau de fragilização do material e, conseqüentemente, irão restringir suas aplicações e o tempo de vida útil (FONTES, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo do efeito de três tempos de envelhecimento a 475°C, estes sendo de 10h, 50h e 100h, no comportamento eletroquímico nos aços inoxidáveis superduplex fundidos, de grau 5A e 6A segundo a norma ASTM A890/890M. A principal diferença entre os aços é a presença de cobre (Cu) e tungstênio (W) no aço 6A e sua ausência no aço 5A. Os resultados iniciais das medidas eletroquímicas mostraram uma melhor resistência à corrosão do aço 6A em comparação ao aço 5A, indicando um efeito benéfico da presença de Cu e W no aço 6A.

## 2 METODOLOGIA

As amostras dos aços inoxidáveis superduplex ASTM A890/890M grau 5A e grau 6A foram solubilizadas a 1200°C por 4h, em seguida envelhecidas a 475°C por 10h, 50h e 100h. A composição química de ambos os materiais é mostrada na tabela 1 e os dados foram recebidos pela empresa Sulzer que forneceu os materiais para estudo.

**Tabela 1** – Composição química dos aços inoxidáveis superduplex 5A e 6A estudados.

AISD	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%Mo	%Cu	%W	%N	%Fe
5A	0,028	25,51	7,84	0,96	0,75	4,25	-	-	0,229	Bal.
6A	0,029	26,11	8,23	0,72	0,88	3,63	0,99	0,70	0,221	Bal.

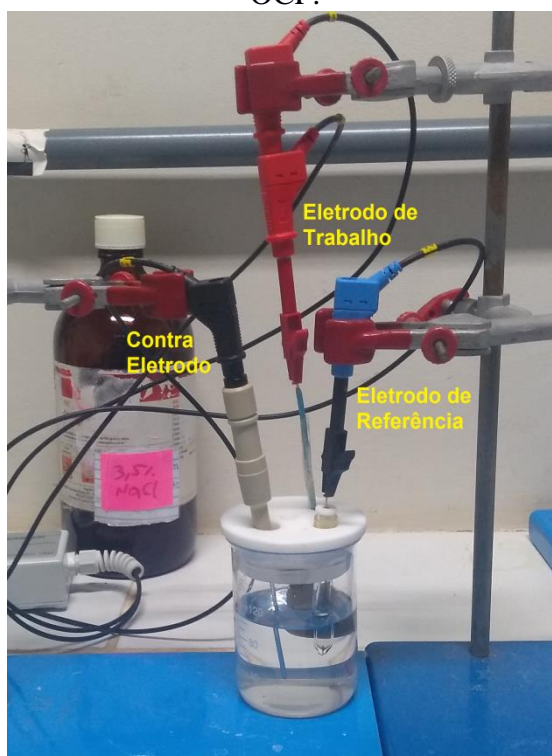
Fonte: Autor, 2021.

A resistência à corrosão foi avaliada por meio de ensaios eletroquímicos utilizando um potenciostato/galvanostato da marca Autolab modelo PGSTATAT101 no Laboratório de Química da Universidade Federal do Cariri (UFCA). As amostras foram embutidas em resina de cura a frio em canos de PVC de uma polegada e adicionados fios de cobre em cada peça para promover o contato elétrico. Uma amostra na condição solubilizada de cada material foi utilizada como referência.

Antes das medidas eletroquímicas as amostras passaram por lixamento utilizando lixas d'água por meio de uma lixadeira/politriz de modelo PLF pertencente ao Laboratório de Metais da Universidade Federal do Cariri (UFCA). Foram utilizadas lixas de granulometrias de 220, 320, 400 e 600 mesh; em seguida, as amostras foram lavadas com álcool e secas por jato de ar quente. A fim de evitar corrosão por fresta, foi isolada por meio de esmalte transparente a interface metal/resina da área de ensaio de cada amostra.

As medidas de polarização linear e potencial de circuito aberto (OCP – *Open Potential Circuit*) foram realizadas utilizando uma célula eletroquímica convencional de três eletrodos, sendo eles, o eletrodo de referência prata/cloreto de prata (Ag|AgCl|KCl saturado), contra eletrodo constituído por platina e o eletrodo de trabalho que foi a amostra estudada nas diferentes condições de análise. Como eletrólito utilizou-se uma solução 3,5% de NaCl para um litro de água destilada em temperatura ambiente. A Figura 1 representa a célula montada.

**Figura 1** – Célula eletroquímica utilizada para os ensaios de polarização linear e OCP.



Fonte: Autor, 2021.

As medidas para OCP foram efetuadas por 3600 segundos para cada amostra, iniciadas a partir do momento em que a amostra era colocada na solução de trabalho. E para polarização linear teve como parâmetro uma velocidade de varredura de 1mV/s iniciando após 1 hora de imersão no OCP e interrompidas quando a corrente atingia o valor de 1mA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 mostra os valores de OCP medidos em função do tempo por 3600 segundos (1h) para as diferentes condições de tratamento térmico de envelhecimento, esses

sendo por 10h, 50h e 100h, e sua comparação com as amostras solubilizadas dos aços inoxidáveis superduplex 5A e 6A.

**Tabela 2** – Valores de OCP para as diferentes condições de tratamento.

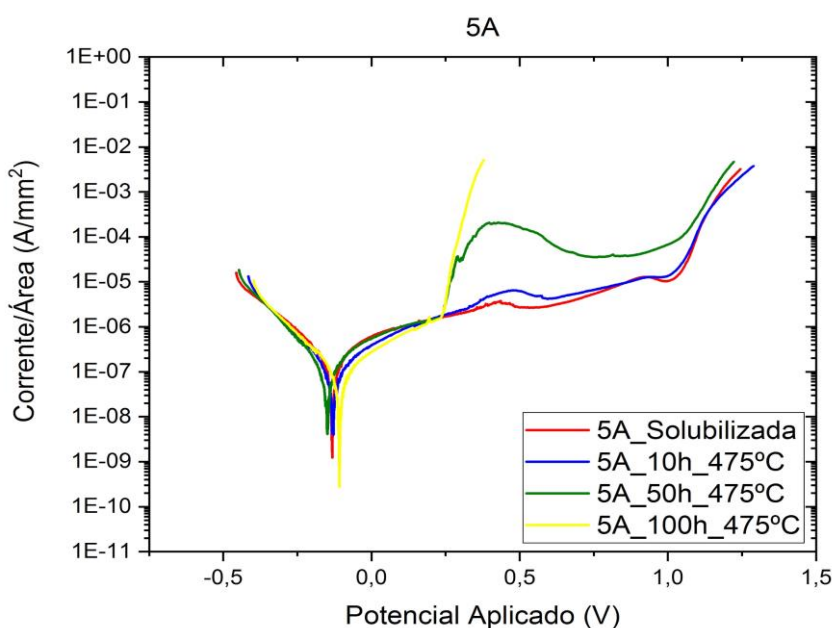
Valores de OCP (mV)		
Condições de Tratamento Térmico	5A	6A
Solubilizada	-0,157	-0,121
Envelhecida a 475°C - 10h	-0,116	-0,088
Envelhecida a 475°C - 50h	-0,148	-0,140
Envelhecida a 475°C - 100h	-0,098	-0,126

Fonte: Autor, 2021.

Para o aço 5A as amostras apresentaram valores de OCP mais negativos do que as amostras de aço 6A. Um menor valor de OCP indica uma superfície eletroquimicamente mais ativa e como consequência mais suscetível a sofrer corrosão, logo esses resultados indicam um efeito mais prejudicial do envelhecimento a 475°C para o aço 5A em comparação ao aço 6A e para o aço 6A por ser menos ativa uma maior proteção da camada passiva.

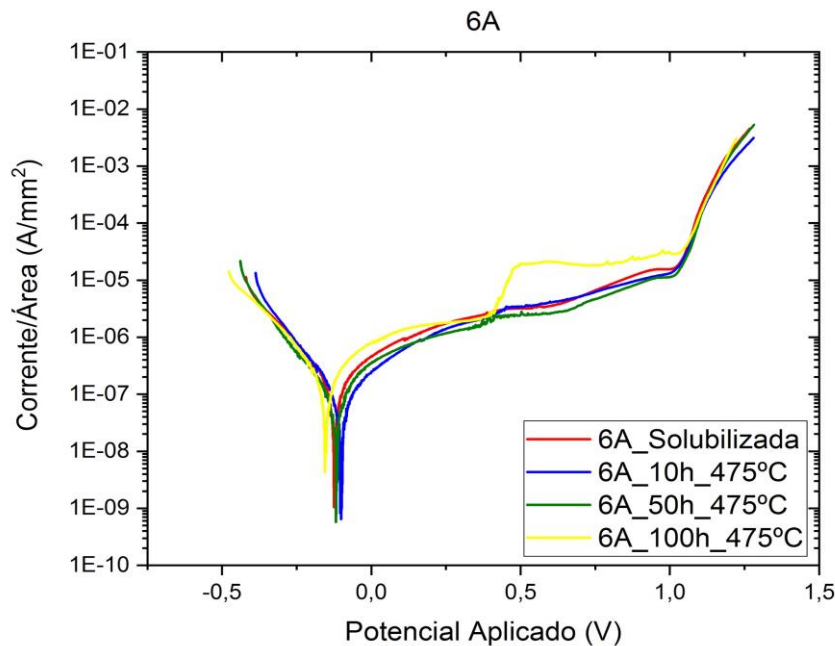
As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados da polarização linear, as quais mostram o efeito do tempo tratamento térmico de envelhecimento a 475°C por 10h, 50h e 100h e sua comparação com as amostras solubilizadas dos aços inoxidáveis superduplex 5A e 6A através das curvas de polarização.

**Figura 2** – Polarização potenciodinâmica linear para as amostras do aço 5A nas diferentes condições de tratamentos térmicos.



Fonte: Autor, 2021.

**Figura 3** – Comparação dos diferentes tempos de tratamentos térmicos para amostra 6A.



Fonte: Autor, 2021.

Para as amostras do aço 5A na condição solubilizada a figura 2 mostra uma melhor estabilidade da camada passiva em comparação com as amostras também do tipo 5A com diferentes tempos de tratamento térmico de envelhecimento a 475°C, uma vez que os valores de densidade de corrente observado na região de passivação foram os mais baixos. Para as amostras envelhecidas, observa-se um aumento nos valores de densidade de corrente por volta de 400mV, o qual se torna mais intenso à medida que o tempo de envelhecimento vai aumentando. Uma tendência à repassivação é observada por volta de 700mV para as amostras envelhecidas por 10 e 50h antes da dissolução da camada passiva próximo de 1,0V. Esse comportamento não é verificado para a amostra envelhecida a 100h, na qual a dissolução da região passiva ocorre por volta de 250 mV.

No caso do aço 6A, as curvas de polarização das amostras nas diferentes condições de tratamento térmico apresentou um comportamento semelhante até o envelhecimento por 50h, o que indica uma camada passiva mais efetiva mesmo com o aumento do tempo de envelhecimento a 475°C até 50h, diferentemente do comportamento observado no aço 5A. Entretanto, para o aço 6A tratado por 100h, observa-se um aumento na densidade de corrente na região de passivação por volta de 400mV, semelhante à observada em todas as amostras envelhecidas do aço 5A, antes de ocorrer a dissolução da camada passiva próximo de 1,0V.

Os resultados iniciais mostraram que em todas as condições de tratamento térmico estudadas, o aço 6A apresentou valores menores de densidade de corrente na região passiva em relação ao aço 5A, mostrando uma maior estabilidade da película passiva formada nesse material e conseqüentemente uma susceptibilidade à corrosão por pites menor. Esses resultados obtidos podem estar relacionados ao efeito benéfico dos elementos Cu e W presentes no aço 6A e ausente no aço 5A.

A presença de uma região de instabilidade na região de passivação nas curvas de polarização dos aços 5A e 6A podem ser indícios da presença de precipitados formados durante o envelhecimento. Sabe-se que a temperatura de 475°C e os diferentes tempos utilizados no tratamento térmico são propícios à formação de uma fase indesejável, a fase  $\alpha'$ , deixando o material fragilizado e resultando em uma resistência a corrosão inferior às amostras na condição solubilizada que mostram um resultado superior por não terem esses precipitados. O aumento de corrente observado próximo de 1,0V é influência de correntes anódicas referentes à evolução de oxigênio na superfície do material, gerando bolhas de oxigênio que facilitam a quebra do filme de óxido passivo e a consequente nucleação de pites, causando o aumento da densidade de corrente observado.

#### 4 CONCLUSÕES

- As amostras de ambos os aços na condição solubilizada apresentaram uma melhor estabilidade da camada passiva em comparação com as amostras envelhecidas.
- Entre as amostras envelhecidas do aço 5A, observou-se um aumento da densidade de corrente por volta de 400mV com valor de densidade de corrente associado que tende a aumentar com o aumento do tempo de envelhecimento.
- Para todos os três tempos de envelhecimento a 475°C, o aço 6A apresentou valores menores de densidade de corrente em relação ao aço 5A para a região de passivação, mostrando uma maior estabilidade de filme passivo.
- A presença de Cu e W no aço 6A contribuiu para a formação de uma camada passiva mais estável.
- Os resultados do monitoramento do OCP indicaram um efeito mais prejudicial do envelhecimento a 475°C para o aço 5A.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Cariri – UFCA e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/UFCA pela concessão de bolsa através do Edital N°. 01/2020/PRPI.

#### REFERÊNCIAS

BERGAMI, L.B; CRETON, S.M. **Caracterização mecânica e microestrutural do aço inoxidável duplex UNS S31803 submetido a diferentes tratamentos térmicos.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, p.75. 2014.

FLORENCIO, V.; BIGUETTI, W.J.; SILVA, F. S.; THOMAS, M. F.; FREITAS, E. S. F. **Estudo da resistência à corrosão em junta soldada de aço inoxidável 316.** Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação – VI ENPG. Vol.1. São Paulo. 2017.p. 296 – 300.

FONTES, T.F. **Efeito da fase alfa linha nas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão do aço anoxidável duplex UR 52N+.** Dissertação (Mestrado em Ciências na

Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, p.93. 2009.

**PARDAL, J. M. Efeitos dos tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas, magnéticas e na resistência à corrosão de aços inoxidáveis superduplex.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, p. 414. 2009.

**SOLOMON, H. D. DEVINE Jr., T. M. Duplex stainless steels –a tale of two phases.In: Duplex stainless steels –conference proceedings.** ASM Metals Park: Ohio 1982 p.693-756.