

ANÁLISE DA CORROSÃO EM AÇO INOX DUPLEX

ANALYSIS OF CORROSION IN DUPLEX STAINLESS STEEL

Simoni Maria Gheno[I]
Marcia Aparecida Gomes [II]

Área: A4. Gestão de Sistemas Mecânicos e Industriais (GESMI)
Subárea: S7: Metalurgia e Processos de Soldagem

RESUMO

A utilização do aço inoxidável dúplex tem-se destacado em relação aos outros tipos de aços inoxidáveis, devido ao seu bom comportamento mecânico e resistência à corrosão. Isso se deve à interessante combinação das excelentes propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão. Em contrapartida temos o desenvolvimento tecnológico que cada vez mais demanda por soluções de problemas reais, de forma a desenvolver pesquisas que integrem as necessidades das indústrias ao conhecimento disponível no meio acadêmico. Neste contexto, se torna importante o desenvolvimento de pesquisas em corrosão de materiais, como o aço inox duplex (DSS), que é um material cotado para uso em situações de alto desgaste como em jazidas de petróleo em território nacional, sobretudo as da camada pré-sal no qual o material é submetido a severas condições corrosivas. Os resultados do ensaio em névoa salina evidenciaram a elevada resistentes a corrosão das amostras do DSSs, o que justifica seu uso em situações em ambientes de severas condições corrosivas.

Palavras-chave: Aço inox duplex. Análise microestrutural. Corrosão. Névoa salina.

ABSTRACT

The use of the duplex stainless steel (DSS) has become relevant in relation to other types of stainless steel, due to its good mechanical behavior and resistance to corrosion. This is due to the interesting combination of excellent mechanical properties and high corrosion resistance. On the other hand, we have technological development, increasingly requires greater demand for solutions to real problems, to develop research that integrates the needs of industries with the knowledge available in academia. In this context, it is important to carry out research on the corrosion of materials, such as DSS, which is a material quoted for use in situations of high wear and tear such as in oil deposits in the national territory, especially those in the pre-salt layer in the which the material is subjected to severe corrosive conditions. The results of the salt spray test showed the high corrosion resistance of the DSSs samples, which justifies their use in situations in environments with severe corrosive conditions.

Keywords: Stainless steel duplex. Microstructural analysis. Corrosion. Salt Spray.

[I] Profa. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: simoni.gheno@cps.sp.gov.br .
[II] Profa. Me. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: marcia.gomes@fatec.sp.gov.br .



Data de submissão do artigo: 22/06/2023.
Data de aprovação do artigo: 01/09/2023.
DOI: 10.33635/sitefa.v1i1.250

1 INTRODUÇÃO

Aços inoxidáveis duplex (DSSs), ou seja, aqueles com microestrutura de proporções aproximadamente iguais de austenita e ferrita, existem há mais de 90 anos. Eles se tornaram comercialmente disponíveis na produção industrial e de pesquisa realizada inicialmente na Suécia, França e Estados Unidos. A utilização desses aços tem merecido destaque em relação aos outros tipos de aços inoxidáveis, por conta da interessante combinação de excelentes propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão (ALVAREZ-ARMAS, 2008; GAVRILJUK, 2004; NILSSON, 1992; SANTOS, 2008).

Os DSSs são aços que possuem microestrutura ferrítico-austenítica em que as duas fases são inoxidáveis, ou seja, apresentam teores de cromo de pelo menos 13% em peso. Na prática, esse termo é reservado para ligas em que as duas fases estão presentes em volumes separados relativamente grandes e em frações volumétricas aproximadamente iguais (ALVAREZ-ARMAS, 2008; NILSSON, 1992).

Considerando a velocidade do desenvolvimento tecnológico, cada vez mais é exigido demanda de processos tecnológicos que solucionem os problemas reais. Neste contexto, merece destaque o desenvolvimento de pesquisas em corrosão de materiais, especialmente para uso em aplicações das atividades industriais, como nos segmentos químico, petroquímico, polpa e papel, geração de energia e extração de petróleo e gás que buscam materiais e tecnologias mais eficientes e resistentes mecanicamente para uso em condições corrosivas as quais os materiais serão submetidos.

Outro importante fator que solidifica as bases deste estudo é o fato de a cidade de Ribeirão Preto estar circundada por cidades como Sertãozinho que possui amplo parque industrial voltado para a área metal-mecânica, fornecendo peças, equipamentos e serviços para grande quantidade de empresas do país e do exterior. Os principais clientes estão no setor de produção sucroalcooleira (açúcar, álcool e energia) e em vários outros segmentos industriais o que dá a este parque industrial características distintas das encontradas na região metropolitana.

Uma destas características relevantes é a grande necessidade de inovação tecnológica e pesquisa aplicada, para atender ao crescimento exponencial do setor nos últimos anos, bem como aos requisitos técnicos para a exportação dos produtos. Assim, é importante e urgente desenvolver pesquisas que integrem as necessidades das indústrias ao conhecimento disponível no meio acadêmico.

O objetivo do presente estudo é investigar o efeito da corrosão nas propriedades mecânicas e microestruturais do DSS. O conjunto de atividades a serem desenvolvidas levará a um entendimento e aprofundamento não só das técnicas a serem utilizadas, mas também dos mecanismos envolvidos em cada processo. Do ponto de vista dos objetivos da formação, esse projeto visa capacitar e desenvolver o conhecimento em técnicas investigativas e na tomada de decisão de um processo a ser aplicado.



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os primeiros aços inoxidáveis duplex forjados foram produzidos em Suécia em 1930 e foram usados na indústria de papel sulfite. Foram desenvolvidos pensando em reduzir problemas de corrosão intergranular nos primeiros aços inoxidáveis austeníticos de alto carbono. Duplex fundidos foram produzidos na Finlândia em 1930, e uma patente foi concedido na França em 1936 para o precursor do que viria a ser eventualmente será conhecido como Urano 50. Estudos mostraram que o equilíbrio de ferrita e austenita teve melhor resistência à corrosão sob tensão do que uma microestrutura totalmente austenítica. Os engenheiros exploraram essas vantagens dos DSSs sobre o austenítico desde então. Na França, o grau UR 50 com 20-35% de ferrita (GUNN, 1997).

Os DSSs são conhecidos por apresentar alta resistência a várias formas de corrosão, como por exemplo por pite, por frestas, intergranular e sob tensão (ALVAREZ-ARMAS, 2008; NILSSON, 1992; REICK, 1992).

Outra característica importante é o comportamento mecânico dos aços inoxidáveis dúplex estar intimamente relacionado com a característica de cada fase; por isso o balanceamento entre as frações volumétricas de austenita e ferrita deve estar próximo de 50% para cada uma das fases, a fim de serem maximizadas as propriedades mecânicas (HAYES, 1990; SCHAEFFLER, 1949).

DSSs modernos estão no mercado há muitos anos e devido à estrutura de grão muito fino, liga de nitrogênio e ferrita e mistura de austenita, sua resistência mecânica é muito alta. Eles podem ser usados em muitos ambientes corrosivos dentro do faixa de temperatura ampla (CHARLES, 2000). As características como alta resistência mecânica, boa tenacidade e soldabilidade adequadas associadas à alta resistência à corrosão intergranular, sob tensão e à corrosão e fadiga termomecânica permitem o uso dos aços inoxidáveis dúplex em numerosas aplicações nas atividades industriais onde meios agressivos estão envolvidos, como dessalinização, segmentos químico, petroquímico, polpa e papel, geração de energia e extração de petróleo e gás (XIONG, 2013; RYAN, 2002; SANTOS, 2008; GHENO, 2008). No entanto, em ambientes de dessalinização de água do mar contendo cloreto, os aços inoxidáveis são suscetíveis a ataques de corrosão localizados, por exemplo, corrosão por pite, corrosão intergranular e trinca por corrosão sob tensão (XIONG, 2013).

A resistência à corrosão é determinada pela capacidade que esses materiais têm de se passivar e permanecer nesse estado no ambiente a que estiver exposto. Essa propriedade está relacionada, principalmente, aos elementos de liga presentes na composição química do aço, embora outros fatores como tamanho de grão, distribuição e morfologia de inclusões, precipitação de fases e qualidade da superfície também exerçam influência. Os mecanismos de corrosão mais comuns são: corrosão por pite e corrosão sob tensão e, geralmente, os aços inoxidáveis dúplex apresentam elevada resistência a todos esses mecanismos. (DEGARMO, 2003; SANTOS, 2008).

A excelente combinação de resistência à corrosão, resistência mecânica, tenacidade, soldabilidade e baixo teor de níquel, que é um elemento de alto custo, torna os aços inoxidáveis dúplex adequados para muitas aplicações em vários segmentos industriais (NILSSON, 1992).

A presença de microestrutura bifásica nos aços inoxidáveis é determinada principalmente pelos teores de Fe, Cr e Ni. Dependendo da composição química, a liga pode solidificar como ferrita ou austenita, o que torna relevante que a quantidade de ferrita na microestrutura varia com a temperatura. Um material com 65% de Fe, 25% de Cr e 10% de Ni



solidifica como ferrita ocorrendo a precipitação de austenita durante o resfriamento. Quanto mais lenta a taxa de resfriamento, maior a quantidade de austenita formada, pois dessa forma o sistema pode aproximar-se mais do estado de equilíbrio. Comercialmente, é muito empregado um tratamento térmico no intervalo de 1050-1150ºC seguido de resfriamento em água para obter proporções aproximadamente iguais de ferrita e austenita.

Os elementos de liga são adicionados para a obtenção de propriedades específicas. Por exemplo, Mo melhora a resistência à corrosão em ambientes contendo cloretos, com maior resistência à corrosão por pite, por frestas e sob tensão. A presença de C aumenta a resistência mecânica e ao desgaste e a de N melhora a resistência à corrosão por pite, além de promover endurecimento. Os elementos C, N, Ni, Mn, Co, Cu e Al concentram-se preferencialmente na austenita, enquanto os elementos P, Cr, Si, Mo, W, Nb e Ti concentram-se na ferrita (ALVAREZ-ARMAS, 2008; REICK, 1992).

2.1 Corrosão dos Aços Inox Duplex

A estrutura bifásica de ferrita e austenita dos aços inoxidáveis dúplex leva a alguns aspectos particulares do comportamento quanto à corrosão, devido a diferenças de composição entre as fases. Cr e Mo tendem a concentrar-se na ferrita, enquanto a austenita apresenta maiores teores de Ni, C e N. Segundo SOLOMON e DEVINE (1984), o ataque seletivo a uma das fases é consequência dos diferentes comportamentos eletroquímicos da ferrita e austenita.

Dependendo da composição do dúplex, do meio corrosivo e do potencial eletroquímico, pode ocorrer dissolução preferencial da ferrita ou austenita (LO e colaboradores (2006)).

Os meios de corrosão em DSSs mais estudados pelos autores, na bibliografia, se referem a corrosão em meio ácido, filmes passivos sobre aços inoxidáveis dúplex e corrosão por pite.

A resistência à corrosão generalizada, intergranular, sob tensão e por pites é diminuída por alterações microestruturais, tais como mudanças nas frações volumétricas e na composição de ferrita e austenita, precipitação de intermetálicos como fase σ, de nitretos e carbonetos de cromo, gerando regiões empobrecidas nesse elemento (MAGNABOSCO e ALONSO-FALLEIROS, 2003). Estudos mostram também que fase σ aumenta acentuadamente a dureza e diminuiu a tenacidade ao impacto do aço de teste (ZOU *et al.*, 2010)

A maioria das ligas metálicas de Engenharia oxida e frequentemente é passivada em meios aquosos, pela formação de filmes de óxido muito finos, cuja estabilidade é muito maior que a estabilidade da liga na ausência de filme. Nesse sentido é preciso lembrar que a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis resulta da presença de um filme de óxido fino sobre sua superfície, tipicamente de 1 a 3 nm de espessura. A teoria de OLSSON (2003) é que a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis pode ser aumentada pela adição de elementos de liga. Isso é possível porque a composição e as propriedades dos filmes passivos dependem da composição – e microestrutura – do inoxidável. Um filme passivo está em constante troca de espécies com o eletrólito, alterando sua espessura e composição com o ambiente, entretanto, outros fatores que afetam os filmes passivos são potenciais, concentração de haletos, pH e temperatura.

Os filmes passivos dos aços inoxidáveis, em particular os aços inoxidáveis dúplex, são suscetíveis à ruptura localizada, por pite que por sua vez podem não só provocar vazamentos



em tanques, tubulações e recipientes, como também levar a outras causas de falha como corrosão sob tensão, fragilização ou fadiga associada à corrosão.

A corrosão por pite ocorre somente na presença de espécies aniônicas agressivas, usualmente cloretos (MAGNABOSCO e ALONSO-FALLEIROS, 2003). O ambiente local dos pites torna-se empobrecido no agente catódico e enriquecido em cátions metálicos e cloretos, que migram para o interior dos pites para manter a eletroneutralidade. Dentro dos pites, os valores de pH são muito baixos, como resultado da hidrólise de cátions metálicos. Assim, forma-se um meio ácido e contendo cloretos, que é muito agressivo e tende a propagar o crescimento de pites.

A corrosão por pite ocorre em três estágios como ruptura do filme passivo, aparecimento de pites metaestáveis e crescimento estável de pites. A ruptura do filme passivo, pela ocorrência extremamente rápida e em escala muito reduzida, é um dos aspectos menos compreendidos da corrosão por pite. Nesses sistemas, o crescimento estável de pites é determinado pela manutenção de condições severas no interior do pite, tais como valores baixos de pH e alta concentração de cloreto. Conforme o sistema metal/meio corrosivo, combinações desses modelos podem ser válidas (SATO, 1990).

Pites quase sempre iniciam em alguma heterogeneidade física ou química na superfície, como inclusões, partículas de segunda fase, contornos de grão com segregação de soluto, defeitos mecânicos e discordâncias (SYMNIOTIS, 1995).

O papel de inclusões de sulfeto de manganês em provocar corrosão por pite é reconhecido (SATO, 1990). Segundo RYAN (2002), como a evidência prática para aços inoxidáveis é que pites ocorrem em inclusões de sulfeto que são tipicamente enriquecidas em MnS, um modelo que não considere o efeito de inclusões de sulfeto não fornece uma resposta adequada ao problema. Essas regiões empobrecidas em Cr são suscetíveis à alta dissolução e provocam corrosão por pite.

Independentemente das linhas de pesquisa, os autores são unânimes sobre o quesito de a resistência à corrosão por pite nos aços dúplex solubilizados depender da composição química. Em geral, C, P, S e inclusões não-metálicas têm um efeito negativo na resistência à corrosão por pite, enquanto Cr, Mo, N, Si e W são benéficas. GUO e colaboradores (2016) verificaram a presença de pites estáveis todos seletivamente localizados no interior da fase ferrita, sugerindo que a fase ferrita era uma fase mais fraca em comparação com a fase austenita, entretanto a resistência à corrosão por pite depende dos teores de Cr, Mo e N.

Um fator importante para a análise da resistência à corrosão é o PREN (*pitting resistance equivalent number*), que é o índice de pite, e é usado como um parâmetro composicional empírico para determinar a resistência à corrosão por pite. Uma vez que a corrosão pode ocorrer rapidamente ou lentamente, dependendo das condições expostas, são utilizados ensaios em laboratórios que simulam um determinado ambiente e aceleram o processo de corrosão. Como exemplo, o ensaio de névoa salina, o qual simula um ambiente marinho (GENTIL, 2011).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O material aqui analisado é um aço inoxidável dúplex fornecido pela Engemasa – Engenharia e Materiais LTDA, na forma de barras. O estudo compreende a análise química, microestrutural, bem como a resistência a corrosão por meio do ensaio de névoa salina (*salt spray*).



3.1 Análise Química

A análise química foi feita utilizando um espectrômetro de massas – Marca Termo Scientific– modelo LTQ. O ensaio foi realizado na Universidade de São Paulo, no Instituto de Química de São Carlos. O material foi tratado termicamente no laboratório da Fatec-Stz para obter proporções aproximadamente iguais de ferrita e austenita na microestrututra e as amostras resfriadas em óleo.

3.2 Caracterização Microestrutural

Para a revelação da microestrutura as amostras foram embutidas em baquelite, lixadas, polidas e a seguir, atacadas com Beraha's: 90 ml H_2O + 10 ml HCl 37% + 0,8 g de metabissulfito de potássio, segundo a norma ASTM E407-07 (2015). Os ensaios de caracterização microestrutural foram realizados em um microscópio Carl Zeiss Axio do laboratório da Fatec-Stz. A metalografia quantitativa foi empregada para avaliar a fração em área de austenita e ferrita nas amostras utilizando o software Image J, conforme a norma ASTM E1382-97 (2023).

3.3 Corrosão pelo Ensaio de Névoa Salina (Salt-Spray)

O ensaio de exposição à névoa salina nas amostras do DSS foi realizado seguindo as normativas da ABNT NBR 17088 (2023). O ensaio realizado em névoa salina (câmara salt spray) foi realizado em um equipamento da marca Equilam modelo SS 1300 com solução salina (cloreto de sódio P.A.) de 5%, do Laboratório de Corrosão da Fatec-Stz. Para o ensaio foram utilizadas 3 amostras de DSSs.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química obtidos por Espectroscopia de Massa estão apresentados na Tabela 1, mostrando resultado padrão esperado para o aço inox. Podemos identificar a ausência de Mo na composição química do material em estudo. Possui, também, elevado teor de Cr, fator que estabiliza o PRE e diminui a tenacidade do material, sendo o principal elemento para a resistência a corrosão.

Tabela 1 - Composição química (porcentagens em peso) para o AID obtida por Espectroscopia de Massa

Elemento	Composição (%)
Fe	67,81
Cr	24,9
Ni	5,71
Mn	0,68
Si	0,83
C	0,051
P	0,022
S	0,002

Fonte: elaborada pelos autores (2023)

4.2 Caracterização Microestrutural

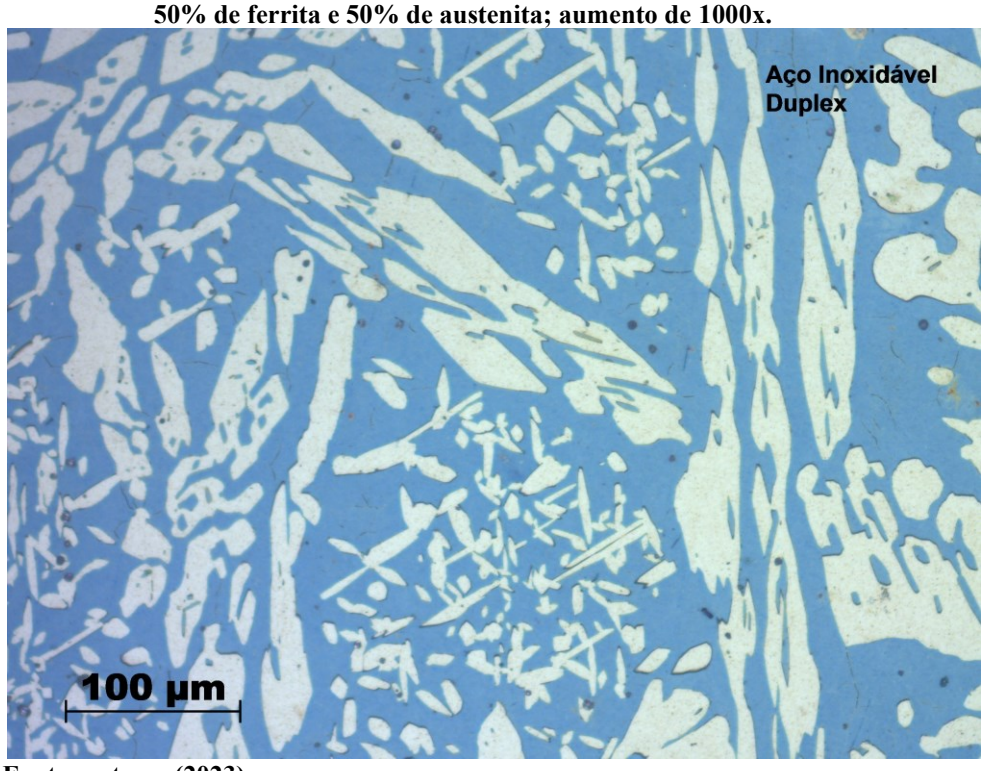
Os ensaios de caracterização microestrutural, após os tratamentos térmicos foram desenvolvidos por microscopias ótica (MO).

Analisar e compreender a microestrutura do material é muito importante e, muitas vezes, se faz necessário, pois permite-se entender as correlações entre a microestrutura, defeitos e propriedades do material. Por MO observam-se microestruturas formadas por austenita (fase cinza) dispersa numa matriz de ferrita (fase azul) conforme é apresentado na micrografia da Figura 1.

As fases ferrítica e austenítica estão presentes em frações volumétricas aproximadamente iguais na microestrutura. Observa-se, ainda, que a austenita está alongada em algumas regiões, na direção de laminação, possivelmente devido à deformação a quente da estrutura bifásica do aço. A austenita está distribuída de forma alongada em uma matriz ferrítica com as interfaces muito bem definidas.

A formação desta microestrutura ocorre a partir da solidificação ferrítica do metal líquido na faixa de temperatura de 1440 a 1490ºC, seguida da precipitação de austenita no estado sólido (1200ºC), por nucleação e crescimento. Essas fases são geralmente intercaladas, o que pode ser explicado pela presença de elementos de liga. De acordo com a literatura também, a composição química aliada ao tratamento termomecânico favoreceu uma microestrutura com uma proporção ferrita/austenita bem balanceada.

Figura 1 – Microestrutura do aço inoxidável dúplex contendo aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita; aumento de 1000x.



Fonte: autores (2023)

4.3 Corrosão pelo Ensaio de Névoa Salina (Salt-Spray)

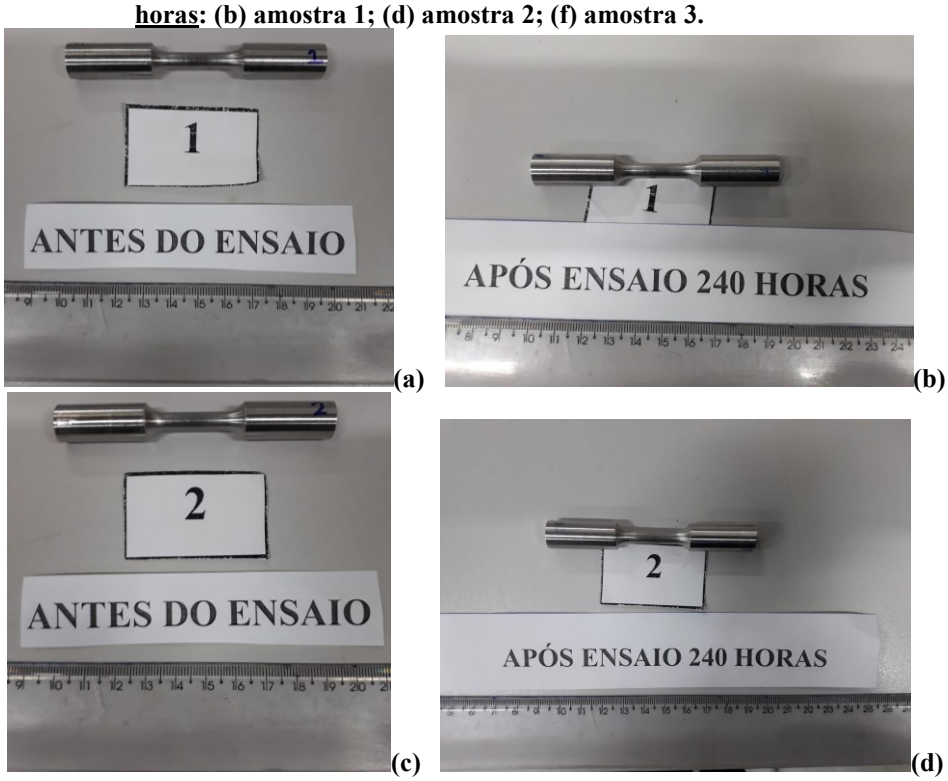
Geralmente os ensaios de corrosão acelerada para o DSSa incluem ensaios de névoa salina pois um dos problemas mais comuns associado à corrosão desse material é a formação de pits de corrosão.

Uma vez que esse ensaio é conduzido em uma câmara fechada com controle sobre as condições de exposição da amostra ele permite o controle dos fatores que contribuem para a corrosão, porém sem provocar alterações nos mecanismos de corrosão.

A exposição contínua dos materiais à solução corrosiva de névoa salina é uma condição extremamente crítica e leva a graus de corrosão muito elevados em pouco tempo. As condições de exposição de materiais podem ser simuladas através de um ensaio para oxidação, sendo o de névoa salina o ensaio que possibilita analisar a corrosão dos materiais sob atmosfera marinha.

Os resultados do ensaio das 3 amostras dos DSSs se mostraram resistentes a corrosão no ambiente da névoa salina, e não apresentaram alterações de oxidação visíveis, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Imagens das amostras do aço inoxidável dúplex submetidas ao ambiente de corrosão no ambiente da névoa salina. Antes do ensaio: (a) amostra 1; (c) amostra 2; (e) amostra 3. Depois do ensaio de 240 horas: (b) amostra 1; (d) amostra 2; (f) amostra 3.



(a) (b) (c) (d)



(e)



(f)

Fonte: autores (2023)

Como parte integrante das atividades foi feita a pesagem das amostras antes e depois da exposição ao ambiente de névoa marinha. Os resultados da análise das massas estão apresentados na Tabela 2, mostrando que não houve variações significativas de massa, mesmo após 240h de exposição, o que evidencia a alta resistência à corrosão do aço dúplex. As três metodologias estudadas apresentaram resultados bastante compatíveis antes e após a exposição prolongada.

Tabela 2 – Análise da massa

Amostra	Massa (g) antes da exposição	Massa (g) após a exposição de 240h
1	65,2525	65,2516
2	65,6812	65,6803
3	65,5512	65,5505

Fonte: autores (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise química mostrou que o material estudado se trata de um DSSs contendo em sua estrutura aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita. Os resultados do ensaio em névoa salina evidenciaram a elevada resistentes a corrosão das amostras do DSSs, Adicionalmente, confirmou-se a resistência a corrosão por perda de massa que é uma forma de avaliação feita e que considera toda a amostra testada. Esses resultados justificam o uso do DSSs em situações de alto desgaste como em jazidas de petróleo em território nacional, sobretudo as da camada pré-sal no qual o material é submetido a severas condições corrosivas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-ARMAS, I. Duplex stainless steels: brief history and some recent alloys. **Recent Patents on Mechanical Engineering**, v.1, n.1, p. 51-57, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis.** ASTM E1382-97, 2023



_____: **Standard Practice for Microetching Metals and Alloys** ASTM E407-07, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **Corrosão por exposição à névoa salina** - Método de ensaio. ABNT NBR 17088, 2023.

CHARLES, J. 10 years later, obviously duplex grades in industrial applications look like a success store. In: **Proc 6th Duplex 2000 Int Conf & Expo**, Venice, Italy. AIM p. 1, 2000.

DEGARMO, E.P.; BLACK, J.T.; KOHSER, R.A. **Materials and Processes in Manufacturing**. 9ª ed, São Paulo: John Wiley, 2003.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GHENO, S.M.; SANTOS, F. S.; KURI, S. E. Probing the duplex stainless steel phases via magnetic force microscopy. **Journal Of Applied Physics**,103, 053906, 2008.

GUNN, R.N. **Duplex Stainless Steels: Microstructure, properties and applications**. Cambridge England: Ed. by Gunn R.N., Abington Publishing, 1997.

GUO, Y.J. *et.al.* Microstructure evolution and pitting corrosion resistance of the Gleeble-simulated heat-affected zone of a newly developed lean duplex stainless steel. **Journal of Alloys and Compounds**, 658, p.1031-1040, 2016.

HAYES, F. H.; HETHERINGTON, M. G.; LONGBOTTOM, R. D. Thermodynamics of duplex stainless steels. **Materials Science and Technology**, v. 6, n. 3, p. 263-272, 1990.

LO, I. -H *et al*. Effect of electrolyte composition on the active-to-passive transition behavior of 2205 duplex stainless steel in H2SO4/HCl solutions. **Corrosion Science**, v. 48, n. 3, p. 696-708, 2006.

MIKA, Seitovirta (Suécia). Chief Executive Officer (Org.). **Handbook of Stainless Steel**. Avesta: Sandvikens Trycken Ab, 2013.

MAGNABOSCO, R.; ALONSO-FALLEIROS, N. Relação entre microestrutura e resistência à corrosão de aço inoxidável dúplex UNS S31803 (SAF 2205). **Pesquisa & Tecnologia FEI**, n. 24, p. 19-25, 2003.

NILSSON, J. -O. **Materials Science and Technology**, v. 8, n. 8, p. 685-700, 1992.

OLSSON, C. -O. A.; LANDOLT, D. Passive films on stainless steels – chemistry, structure, and growth. **Electrochimica Acta**, v. 48, p. 1093-1104, 2003.

REICK, W.; POHL, M.; PADILHA, A. F. O desenvolvimento dos aços inoxidáveis ferríticos-austeníticos com microestrutura duplex. **Metalurgia & Materiais**, v. 48, n. 409, p. 551-563, 1992

RYAN, M. P. *et al.* Why stainless steel corrodes. **Nature**, v. 415, n. 6873, p. 770-774, 2002.

SATO, N. An overview on the passivity of metals. **Corrosion Science**, v. 31, p. 1-19, 1990.



SANTOS, Fabrício Simões. **Espectroscopia de Fotoelétrons (XPS) no Estudo de Filmes Passivos sobre Aços Inoxidáveis Envelhecidos em Baixas Temperaturas**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 127p, 2008.

SCHAEFFLER, A. L. Constitution diagram for stainless steel weld metal. **Metal Progress**, v. 56, n. 11, p. 680-680B, 1949.

SYMNIOTIS, E. Galvanic Effects on the Active Dissolution of Duplex Stainless Steels. **Corrosion**, v. 46, n. 1, p. 2-12, 1990.

SOLOMON, H. D.; DEVINE Jr, T. M. Duplex Stainless Steels – A tale of two phases. **Proceedings Metals Park: ASM**, p. 693 – 756, 1982.

SOUZA, Sérgio Augusto de. Composição química dos aços. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

XIONG, J.; TAN, M.Y.; FORSYTH, M. The corrosion behaviors of stainless steel weldments in sodium chloride solution observed using a novel electrochemical measurement approach. **Desalination**, v. 327, p. 39-45, 2013.

ZOU, D.-N. *et al.* Phase Transformation and Its Effects on Mechanical Properties and Pitting Corrosion Resistance of 2205 Duplex Stainless Steel. **Journal of Iron and Steel Research International**, v. 17, n. 11, p. 67-72, november 2010.