ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DUREZA RHC DE UM AÇO INÓX DUPLEX ASTM A 240

ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND RHC HARDNESS OF A DUPLEX STAINLESS STEEL ASTM A 240

Alexandro Ferreira da Silva [I]
Paulo Henrique Dias dos Santos [II]
Simoni Maria Gheno[III]
Maria Aparecida Bovério[IV]
Lucas Henrique dos Santos[V]

RESUMO

A utilização do aço inoxidável duplex tem-se destacado em relação aos outros tipos de aços inoxidáveis, devido ao seu bom comportamento mecânico e resistência à corrosão. Esse crescimento se dá nas indústrias de petróleo, gás, papel, celulose e químico-petroquímica. Ele é usado por resolver problemas como corrosão por pite, corrosão intergranular e sobtensão, também para reduzir pesos nas estruturas metálicas. Desse modo, o objetivo dessa pesquisa é desenvolver um estudo para compreender brevemente o aço inox duplex e sua composição química e a dureza rockwel. Os resultados, por sua vez, revelaram a quantidade de cada elemento químico presente na composição química do aço inox duplex fornecidos pelo equipamento espectrômetros emissão óptica e seu valor médio de dureza dado em escala HRC.

Palavras-chave: Aço inoxidável duplex. Composição química. Análise química.

ABSTRACT

The use of duplex stainless steel has stood out in relation to other types of stainless steel, due to its good mechanical behavior and resistance to corrosion. This growth occurs in the oil, gas, paper, cellulose, and chemical-petrochemical industries. It is used to solve problems such as pitting corrosion, intergranular corrosion and undervoltage, also to reduce weights in metal structures. Thus, the objective of this research is to develop a study to briefly understand duplex stainless steel and its chemical composition and rockwel hardness. The results, in turn, revealed the amount of each chemical element present in the chemical composition of the

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: alexandro.ferreirasilva@hotmail.com.
[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail.paulinhophdsantos@gmail.com.
[III] Prof. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: simoni.gheno@cps.sp.gov.br
[IV] Prof. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br
[V] Prof. Me. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: lucas.dossantos@hotmail.com

duplex stainless steel provided by the optical emission spectrometer equipment and its average hardness value given on an HRC scale.

Keywords: Duplex stainless steel. Chemical composition. Chemical analysis.

Data de submissão do artigo: 05/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 05/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.115

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis dúplex se tornaram comercialmente disponíveis nos anos 30 na produção industrial e de pesquisa realizada 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 (NILSSON, 1992; SANTOS, 2008).

Dessa forma, o desenvolvimento tecnológico exige cada vez mais, uma demanda maior de processos que solucionem os problemas reais. Nesse contexto, merece destaque o desenvolvimento de pesquisas em Corrosão de materiais, pertencente a uma área que surgiu justamente para atender à demanda do mercado atual, por exemplo, as recentes descobertas de jazidas de petróleo em território nacional - sobretudo as da camada pré-sal – vem colocando em discussão quais os métodos e as tecnologias mais eficientes para explorá-las e as severas condições corrosivas as quais os materiais de perfuração serão submetidos, dessa maneira, nossa intenção é participar, é um futuro próximo da cadeia de material nos fornecimentos da Petrobras e, consequentemente, o de aço inoxidável dúplex e soldas mais adequadas.

Outro importante fator que solidifica as bases dessa pesquisa é o fato de que a cidade de Sertãozinho/SP possui amplo parque industrial voltado para a área metalmecânica, 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 esse parque industrial características distintas das encontradas na região metropolitana.

Uma característica relevante 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 problema de pesquisa a ser investigado é “conhecer qual a composição química e quais as quantidades desses elementos químico presente no aço inox duplex que será estudado e sua dureza média.”

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver um estudo para entender um pouco sobre o aço inox duplex que nos foi fornecido e ver os valores de cada elemento da sua composição química.

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.

Nesse sentido, serão pesquisadas as propriedades mecânicas e microestruturais do aço inox duplex submetido a diferentes processos de soldagem, bem como será analisado o comportamento desse material frente ao meio corrosivo.

2 AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX

Os aços inoxidáveis dúplex são aços que possuem microestrutura ferrítico-austenítica em que as duas fases são inoxidáveis, ou seja, apresentam teores de cromo (Cr) 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 (NILSSON, 1992).

O aço inoxidável dúplex apresenta alta resistência a várias formas de corrosão, tais como generalizada, por pite, por frestas, intergranular e sob tensão (NILSSON, 1992; REICK; POHL; PADILHA, 1992). Outro importante fator é o fato de 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; HETHERINGTON; LONGBOTTOM, 1990; SCHAEFFLER, 1949).

A alta resistência mecânica e a boa tenacidade 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, como nos segmentos químico, petroquímico, polpa e papel, geração de energia e extração de petróleo e gás (DUPOIRON; AUDOUARD, 1996; SEDRIKS, 1996; SHEK, 1997; RYAN *et al*., 2002; SANTOS, 2008; GHENO; SANTOS; KURY, 2008).

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. Geralmente, os aços inoxidáveis dúplex apresentam elevada resistência a todos esses mecanismos. (DEGARMO; BLACK; KOHSER, 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, como apresenta o Quadro 1 (NILSSON, 1992).

A presença de microestrutura bifásica nos aços inoxidáveis é determinada principalmente pelos teores de Ferro (Fe), cromo (Cr) e níquel (Ni).

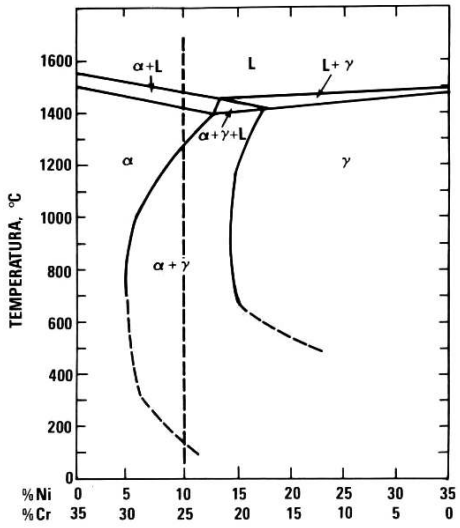
Quadro 1 - Aplicações de aços inoxidáveis dúplex em vários segmentos industriais

Segmento Industrial	Tipo de Aço			
	23%Cr sem Mo PRE[1] = 25	**22% Cr + Mo 30 < PRE < 25**	**25% Cr 32 < PRE < 40**	**26-27% Cr PRE > 40**
Processamento Químico	Tubulações	Bombas, tanques de produtos químicos, serpentinas para fusão de enxofre e centrifugadores.	Extratores de ureia, reatores, agitadores e trocadores de calor.	Evaporação salina, tubulações, bombas, sistemas de refrigeração da água do mar.
Petroquímico	Reatores tubulares com revestimento de aço carbono.	Unidades de dessalinização e destilação.	Carcaças de bombas de dessulfuração.	Tubulações para meios contendo Cl ou HCl.
Geração de Energia Fóssil	Reaquecedores, aquecedores de água de alimentação.	Tubos de injeção de alta velocidade em poços geométricos.		Trocadores de calor e sistemas em condições geotérmicas ou salinas.
Extração de petróleo e gás (*on e off-shore*)	Resfriadores, tubulações e linhas de distensão.	Estruturas e revestimentos (H_2S+CO_2)	Transporte de gás sulfuroso, bombas de injeção de água salgada.	Sistemas de refrigeração, bombas, separadores, vasos de pressão e blocos de válvulas.

Fonte: Adaptado de Nilsson (1992)

Um diagrama de fases para um inoxidável dúplex, considerando somente Fe, Cr e Ni na composição, conforme a Figura 1 (SEDRIKS, 1996). A quantidade de ferrita na microestrutura varia com a temperatura. Dependendo da composição química, a liga pode solidificar como ferrita ou austenita.

Figura 1 - Isopleta para 65%Fe-Cr-Ni



Fonte: (SEDRIKS, 1996)

[1] PRE = Pitting Resistance Equivalent (Resistência à corrosão equivalente).

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, molibdênio (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 carbono (C) aumenta a resistência mecânica e ao desgaste e a de nitrogênio (N) melhora a resistência à corrosão por pite, além de promover endurecimento. Os elementos C, N, Ni, Manganês (Mn), Cobalto (Co), Cobre (Cu) e Alumínio (Al) concentram-se preferencialmente na austenita, enquanto os elementos Fósforo (P), Cr, silício (Si), Mo, Tungstênio (W), nióbio (Nb) e titânio (Ti) concentram-se na ferrita (REICK; POHL; PADILHA, 1992).

É bem conhecido que a resistência à corrosão por pite depende dos teores de Cr, Mo e N. O *Pitting Resistance Equivalent Number (*PREN), índice de pite, é um parâmetro composicional empírico para determinar a resistência à corrosão por pite, dado por (SEDRIKS, 1986).

Os aços inoxidáveis que têm valores de PREN maiores que 40 são chamados super dúplex. Esses aços contêm maiores teores de Cr, Mo e N e por isso têm maior resistência à corrosão por pite e por frestas. Entretanto, a resistência à corrosão por pite e por frestas também depende da microestrutura, das fases eventualmente precipitadas no aço (SEDRIKS, 1986).

2.1 Filmes passivos sobre aços inoxidáveis dúplex

A maioria das ligas metálicas de Engenharia oxida e frequentemente passiva 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 (SATO, 1990).

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 (OLSSON; LANDOLT, 2003). A ocorrência de passivação pode ser acompanhada por uma curva de polarização anódica na região de transição ativo-passiva, em que a densidade de corrente alcança um máximo (densidade de corrente crítica) e decresce rapidamente para um valor muito baixo, denominado densidade de corrente passiva.

De acordo com Sato (1990), a cinética de passivação pode bem ser desenvolvida por um modelo bidimensional em que o metal forma íons hidratados adsorvidos, seguido por sua dissolução ou dessorção e transformação bidimensional formando uma fase condensada constituída por uma camada contínua de óxido sobre a superfície metálica.

O crescimento de filme passivo ocorre pela migração de íons de oxigênio em direção à interface metal/óxido e pela reação com cátions metálicos para formar a parte mais interna do óxido, enquanto os íons metálicos migram em direção à interface óxido/eletrólito e reagem com íons de oxigênio ou outros ânions para formar a parte mais externa do óxido (SATO, 1990). Geralmente, os filmes de óxido passivos não são cristalinos quando finos, mas tornam-se frequentemente parcialmente cristalinos quando mais espessos. A presença de uma porção cristalina pode prejudicar as propriedades eletrônicas, elétricas e a resistência à corrosão do filme (SATO, 1990).

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. Outros fatores que afetam os filmes passivos são potenciais, concentração de haletos, pH e temperatura (OLSSON; LANDOLT, 2003).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, aplicada e laboratorial. A pesquisa bibliográfica constitui-se da elaboração do referencial teórico elaborada a partir de material já publicado. Nas pesquisas aplicada e laboratorial buscou-se verificar a relação entre as variáveis, por meio do plano da pesquisa e da manipulação de condições e observação dos efeitos produzidos, assim como definido por Prodanov e Freitas (2013).

3.1 Materiais e métodos

Foi analisado um aço inoxidável dúplex na forma de barras, fornecido pela empresa "X", cuja a composição química foi fornecida em parceria com uma empresa "Y", ambas localizadas no município de Sertãozinho / SP. A generalização dos nomes se deve ao fato da preservação da identidade das empresas.

3.2 Procedimentos de preparação da amostra

Corte: Procedimento para o corte (pode variar com a troca do equipamento) posicionou a amostra no centro da mesa de fixação, em seguida foi fixado firmemente o corpo de prova com ambas às morsas, após ter se certificado da correta fixação do corpo de prova, colocou-se o protetor acrílico do disco, averiguou-se se o disco se encontra em sua posição de descanso, sem tocar na amostra. O motor de acionamento do disco foi ligado. Isto faz com que a bomba de fluido de corte também seja ligada; (no caso de equipamentos automáticos). Verificou-se se a amostra está sendo resfriada pelo fluido de corte. Aplicou-se uma carga moderada do disco sobre o corpo de prova (evitando solavancos que podem romper o disco de corte) até que o corpo de prova esteja cortado;

O disco foi retornado à sua posição de descanso e desligar o motor. Soltar o corpo de prova da mesa de fixação, e por fim efetuar a limpeza do equipamento.

Lixamento: Foi usado o processo de lixamento automático (úmido), usou-se as lixas 120 a 200, ligou-se o equipamento e colocou-se em contato a superfície da amostra com a lixa rotativa, com um meio de resfriamento no qual era a agua.

3.3 Método de análise química

Foi usado analisador de metal estacionário SPECTROMAXx da empresa "Y", e utilizou-se o gás Argônio 5.0 como alimentadores para realização da análise química, Foi colocado o corpo de prova na base do analisador, onde a mesma é pressionada por uma alavanca contra a base do analisador, onde a amostra é atingida por um raio laser que ao encontrar-se em contato com a superfície analisada do corpo de prova, essa operação leva cerca 30 segundos com a queima a laser feita é enviado para um software os resultados que

nos mostra a composição química do material, e esse é utilizado principalmente para testes de materiais em fundições e para inspeções de entrada e saída na indústria metalúrgica em todo o mundo. Determina todos os elementos utilizados na indústria metalúrgica, incluindo análise de metais de carbono, fósforo, enxofre e nitrogênio.

3.4 Ensaio de dureza Rockwell C (HRC)

O método foi realizado em três etapas, e realizou-se cinco medidas de dureza. Na primeira, colocou-se a amostra na mesa de apoio do durômetro estão limpas e bem assentadas uma sobre a outra; certificar-se que o penetrador, quando montado, mantenha um perpendicularíssimo em relação à peça. Na segunda a peça é endentada, e aplicou-se uma carga, resulta a carga total do ensaio. Na terceira, retira-se a carga, e nesse momento, a

profundidade da impressão é dada diretamente no mostrador analógico sob forma de um número de dureza, lida na escala correta é a carga utilizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Composição química

Esse material possui normalmente proporções iguais de ferrita e austenita em sua microestrutura. Os resultados dados pela análise química do material aço inox duplex obtidos pelo equipamento espectrômetros de emissão óptica estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composiçao quimica do inox duplex

Elemento	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	N
				22,0	4,50			3,0	0,14
%	0,03	2,00	1,00	23,0	6,50	0,03	0,015	3,5	0,20

Fonte: ASTM A240/A240M (2020)

Os resultados da Tabela 2 comprovam que ele é da série de aço inox duplex como o esperado. Isso foi possível à análise química mostrando que ele possui um elevado teor de Cr (cromo) de 25,93% Cr, sendo que o mínimo de Cr para ser considerado inox é de 11% Cr, dessa forma o Cr é o principal elemento para a resistência a corrosão, e com uma relação de Cr - Ni (níquel) como mostrado na figura 2, 25,93% Cr / 5,64 Ni. Sendo que os elementos Cr, Ni e Mo é o maior responsável pela resistência a corrosão por pite, corrosão intergranular, em meios corrosivos.

Tabela2 – Análise Química

Elementos	**C**	**Mn**	**Si**	**Cr**	**Ni**	**P**	**S**	**Mo**	**N**
%	0,415	0,586	0,766	25,93	5,64	0,0302	0,00176	2,01	0,216

Fonte: elaborada pelos autores (2020)

Comparando com os valores segundo norma ASTM A240/A240M na tabela 1, nota-se que há divergências em alguns valores de elementos como o valor de C, Cr, Mo. Os elementos C e Cr estão pouco acima do teor máximo permitido de acordo com pré estabelecidos pela norma. A uma diferença de 0,0115% de C e 2,93% de Cr. O Mo está com um teor abaixo do teor mínimo segundo a norma, há diferença de 0,99 de Mo abaixo do essencial, mínimo pré estabelecido pela norma.

4.2 Dureza HRC

A amostra foi lixada antes do ensaio de dureza, ao serem submetida ao ensaio de dureza HRC apresentaram os seguintes valores que estão compostos nas Tabela 3. O material que foi nos fornecido pela empresa "X", obteve esses valores de dureza HRC, com uma dureza média de 25,9 HRC.

Tabela 3 – Dados e resultados dos ensaios de Dureza Rockwell C

Nº Cert/Rel.:			**Data de início: 03/07/2020**			**Data de término: 03/07/2020**		
Equipamento :Durômetro Analógico HRC			**Executor: Paulo H. e Alexandro F.**			**Responsável técnico:**		
Identificação da Amostra	**Escala**	**1ª medida**	**2ª medida**	**3ª medida**	**4ª medida**	**5ª medida**	**Média**	**Temperatura ambiente. (ºC)**
Inox Duplex	HRC	24,5	25	26	26,5	27,5	25,9	22

Fonte: elaborada pelos autores (2020)

O ensaio foi composto por cinco medidas, a primeira amostra para análise de dureza realizou-se na face da aresta esquerda da amostra para o núcleo da amostra, a segunda amostra se deu pouco acima da primeira onde deslocou-se a meia altura, a terceira amostra coincide no mesmo alinhamento da primeira porém mais centralizada, a quarta amostra se destaca ao alinhamento da segunda e centralizada, a quinta e última amostra encontra-se centralizada diferenciando à das demais, na Tabela 3 nos mostra os valores das cinco analises de dureza obtido através do ensaio a partir do durômetro HRC com o penetrador cônico de diamante. O ensaio foi concluído no mesmo dia em uma temperatura controlada em 22°C. As endentações do ensaio de dureza e a queima a laser feita para a análise química foram registradas na face plana na superfície do corpo de prova, nos mostra os ensaios realizadas para obter os resultados. Quanto à análise química, pode-se classificá-la como quantitativa, pois é mais criteriosa para saber qual o material se está tratando e mostra a quantidade de cada componente em questão dentro da amostra. Dureza Rockwell C: O ensaio de dureza realizado nesse processo foi para determinar e conhecer o potencial de dureza do material analisado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No ensaio de espectrômetros de emissão óptica pode-se ver sua composição e a quantidade de cada elemento no aço inox duplex e compreendeu-se que sua composição química não está completamente de acordo com a norma que foi comparada, com um teor de

C e Cr muito acima do que a norma especifica e um baixo valor Mo, porém pode-se concluir que apesar dessa diferença, a uma relação de aproximadamente 4-5% de Cr pra 1% de Ni, e também com Mo de 1 a 4% são considerados Duplex.

Pelo resultados do ensaio de Dureza Rockwell C, pode-se assimilar que os valores de dureza do canto esquerdo rumo ao núcleo da peça foi notada um pequena diferença de dureza e deduz que o canto esquerdo do corpo de prova tem uma dureza menor que seu núcleo, porém essa diferença de dureza não chega ser considerável, podendo assim dizer que essas medidas estão de acordo com o pré estabelecidos pela norma não alterando a sua utilização nas indústrias de petróleo, gás, papel, celulose e químico-petroquímica.

A necessidade de conhecer a composição do material inox duplex e sua dureza vai de encontro ao objetivo de pesquisa, que era mostrar a composição química e os valores de cada elemento composto no material aço inox duplex, e determinar a dureza do material. Desse modo, com os resultados adquiridos no decorrer do estudo revelaram quais elementos e quantidade de cada elemento presente nele e determinado uma dureza media de 25,9 HRC, com base nos estudos de dureza e composição química, levando em consideração todos aspectos obtidos nos ensaios, o material esta disposto a atender as necessidades das industrias sem colocar as suas atividades complementares em risco, assim sendo a rentabilidade da s operações não serão afetadas por uma parada inesperada para manutenção corretiva e com isso as indústrias terão uma rentabilidade mais ativa sem gerar prejuízos futuros.

REFERÊNCIAS

ALONSO-FALLEIROS, N.; HAKIM, A.; WOLYNEC, S. **Comparison between potentiodynamic and potentiostatic tests for pitting potential measurement of duplex stainless steels. Corrosion**, v. 55, n. 5, p. 443-448, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) **E407-93** - Metals and alloys, microetching [cust: at SH 99]

_____. **G 61-2003** – Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys

_____ **A240/A240M**. Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications

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

DUPOIRON, F.; AUDOUARD, J. P. **Scandinavian Journal of Metallurgy**, v. 25, n. 3, p. 95-102, 1996.

GHENO, S. M.; SANTOS, F.S.; KURY, S.E. **Journal of Applied Physics** 103, 053906, 2008.

HAYES, F. H.; HETHERINGTON, M. G.; LONGBOTTOM, R. D. T**hermodynamics 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

MENG, Q.; *et al*. **Metallurgy (communication arising): stainless-steel corrosion and MnS inclusions. Nature**, v. 424, n. 6947, p. 389-390, 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.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

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.

_____. Metallurgy (communication arising): stainless-steel corrosion and MnS inclusions. **Nature**, v. 424, n. 6947, p. 390-390, 2003.

SANTOS, F.S. **Espectroscopia de Fotoelétrons (Xps) no Estudo de Filmes Passivos sobre Aços Inoxidáveis Envelhecidos em Baixas Temperaturas**. Dissertação de Mestrado, DEMa – UFSCar, 127p, 2008.

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

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

SEDRIKS, A. J. **Corrosion of stainless steels**. 2. ed. New York, John Wiley & Sons, 1996.

_____. Effects of alloy composition and microstructure on the passivity of stainless steels. **Corrosion**, v. 42, n. 7, p. 376-389, 1986

SHEK, C. H.; WONG, K. W.; LAI, J. K. L. Review of temperature indicators and the use of duplex stainless steels for life assessment. **Materials Science and Engineering**, v. 19, n. 5/6, 1997, p. 153-200.