



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PITE DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENO-FERRÍTICO SEW 410 NR. 14517 E AUSTENÍTICO AISI 304L**

**Andre Itman Filho, andrei@ifes.edu.br**  
**Cleybson Soledade Ferro, bison@ifes.edu.br;**  
**Caroline Croce Pimenta, carol@ifes.edu.br**  
**Rosana Vilarim da Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br**

Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729, Jucutuquara, CEP 29040780, Vitória - ES

**Resumo:** Atualmente, os aços inoxidáveis austeno-ferríticos estão substituindo os austeníticos em muitas aplicações como nas indústrias químicas e petrolíferas devido ao ótimo compromisso entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão. Neste caso, o efeito da erosão-corrosão associado à atmosfera salina deve ser evitado, para reduzir os custos de manutenção dos equipamentos. No processamento destes aços a composição química e a deformação termomecânica influenciam as propriedades físicas finais. A resistência à corrosão genérica destes aços é similar à dos inoxidáveis austeníticos, porém apresentam melhor resistência à propagação de trincas em corrosão sob tensão. Considerando o grande interesse na pesquisa petrolífera, a proposta deste estudo foi comparar a resistência à corrosão após tratamento térmico de solubilização dos aços inoxidáveis austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517(Cr26Ni6Mo3Cu3) e austenítico AISI 304L comercial. Os testes galvanostáticos para determinar o potencial de pite foram realizados em solução com 3,5% de NaCl em água, similar à salinidade encontrada em regiões de grande profundidade. Também foram feitas medidas de microdureza para avaliar as condições superficiais das amostras solubilizadas. Após os experimentos o aço austeno-ferrítico apresentou maiores valores de dureza e potencial de pite indicando uma melhor resistência à corrosão e à abrasão. Desta forma, a utilização do aço austeno-ferrítico na fabricação de componentes expostos aos ambientes salinos, por certo garantirá maior vida útil com relação ao austenítico, fato este importante para evitar custos de manutenção, principalmente em regiões de difícil acesso.

**Palavras-chave:** aço inoxidável austeno-ferrítico, aço inoxidável austenítico, potencial de pite.

### **1. INTRODUÇÃO**

#### **1.1. Os aços Inoxidáveis Austeníticos e Austeno-ferríticos**

A principal aplicação dos aços inoxidáveis é na fabricação de componentes que atuam expostos aos ambientes corrosivos. Nos casos de maior exigência em meios agressivos a opção normalmente é pela escolha dos inoxidáveis austeníticos da série AISI 300, que além da menor densidade quando comparados às ligas não ferrosas básicas, apresentam resistência mecânica e à corrosão adequada com menor custo (Pickering, 1978). A partir dos anos 30, os aços inoxidáveis austeníticos da série AISI 300, substituem as ligas não ferrosas que requeriam altas temperaturas de fusão e equipamentos especiais para acabamento superficial dos componentes fabricados (Truman e Pirt, 1983; Finn e Srivastava, 2000). Atualmente, considerando a resistência mecânica e à corrosão, os aços inoxidáveis austeníticos têm sido substituídos pelos austeno-ferríticos em várias aplicações industriais, pois apresentam melhor resistência à propagação de trincas em corrosão sob tensão (Gunn, 2001). Esta substituição está ocorrendo em grande escala, principalmente em componentes utilizados nas indústrias químicas, plataformas marítimas e em componentes fundidos como as bombas que injetam água salgada no sub-solo para aumentar a pressão local e expulsar o óleo e o gás. A corrosão nos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos pode ser provocada pelos precipitados em contornos de grão, tensões residuais, meio ambiente ou formação de fases que causam a redução do teor de cromo na matriz e contribuem com o efeito galvânico para uma possível corrosão seletiva (Kawalla e Chabbi, 2000). Com relação aos aços austeno-ferríticos, outro fator importante é que o nitrogênio substitui parcialmente o níquel com melhora das propriedades mecânicas e resistência à corrosão (Clayton, 1989). As propriedades destes aços são conseguidas por meio do controle da composição química e processos termo-mecânicos, que proporcionam uma microestrutura balanceada com 50% de ferrita e 50% de austenita.

Estes aços com características singulares e propriedades mecânicas suficientemente interessantes podem ser utilizados inclusive na fabricação de fios para tratamentos ortodônticos (Itman et al, 2005). Dentro deste contexto, a determinação da microdureza e do potencial de pite em solução de cloreto de sódio são importantes para comparar a resposta ao desgaste dos aços austeníticos e austeno-ferríticos quando submetidos a ambientes salinos.

## 1.2. Objetivos do Trabalho

Observar as características microestruturais, dureza e potencial de pite após tratamento térmico de solubilização de um aço inoxidável duplex SEW 410 Nr. 14517 comparando-o ao aço AISI 304L comercial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de um aço inoxidável austenítico AISI 304L comercial e de um austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 na forma de discos com 12 mm de diâmetro e 3mm de espessura foram solubilizadas a 1050°C durante uma hora. Após o aquecimento e resfriamento em água as amostras foram lixadas e polidas utilizando os procedimentos normais de preparação metalográfica. Nestas amostras foram realizadas medidas da microdureza conforme a norma ASTM A384/89 (1990). Os valores apresentados na Tabela 2 representam a média e o desvio padrão de cinco medidas em cada amostra utilizando uma carga de 100g durante vinte segundos. Posteriormente foram determinados os potenciais de pite, norma ASTM G5 (1994), por meio de curvas de polarização com as amostras imersas em uma solução salina com 3,5% de cloreto de sódio. Nos testes, o potencial foi variado continuamente com varredura igual a 1 mV/s a partir de um valor catódico pré-estabelecido igual a -1000 mV(ECS). As curvas de polarização e os valores de resistência ao pite foram obtidos a partir dos gráficos  $E \times \log I$  em um equipamento potenciostato-galvanostato PG-39A acoplado a um microcomputador para aquisição e tratamento dos dados.

## 3. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a composição química dos aços inoxidáveis austeno-ferrítico e austenítico 304L utilizados neste trabalho.

**Tabela 1. Composições químicas dos aços inoxidáveis (% em peso).**

	Cr	Ni	Mo	Cu	Mn	Si	C	N	P	S
SEW 410	26,0	6,4	3,2	3,0	1,5	0,8	0,03	0,22	0,03	0,01
304 L	18,3	8,4	0,2	0,1	0,8	0,7	0,02	0,04	0,03	0,01

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das microdurezas e dos potenciais de pite determinados em cinco amostras de cada aço.

**Tabela 2. Medidas de microdureza (HV) e potencial de pite dos aços inoxidáveis após solubilização a 1050°C.**

SEW 410	361 ± 12 HV	1,19 ± 0,01 V
304 L	258 ± 14 HV	0,44 ± 0,02 V

Nas Figuras (1a) e (1b) são observadas as aparências típicas das amostras dos aços inoxidáveis solubilizadas a 1050°C durante uma hora. As curvas características de polarização linear obtidas nos aços inoxidáveis são mostradas nas Figuras (2a) e (2b) para efeitos comparativos.

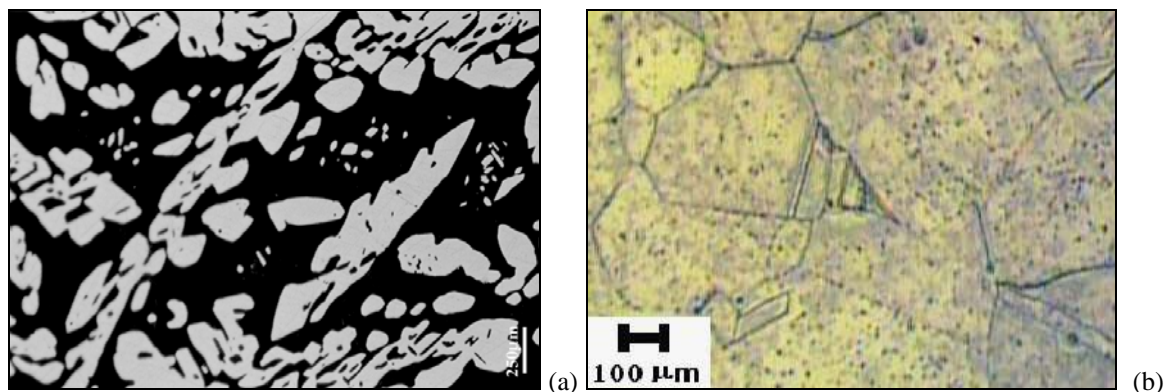


Figura 1. (a) Microestrutura do inoxidável SEW 410 evidenciando apenas a fase austenítica clara envolvida pela matriz ferrítica escura após solubilização. (b) Aparência típica do aço inoxidável AISI 304L mostrando os grãos austeníticos parcialmente recristalizados após tratamento térmico. Observações feitas por microscopia ótica.

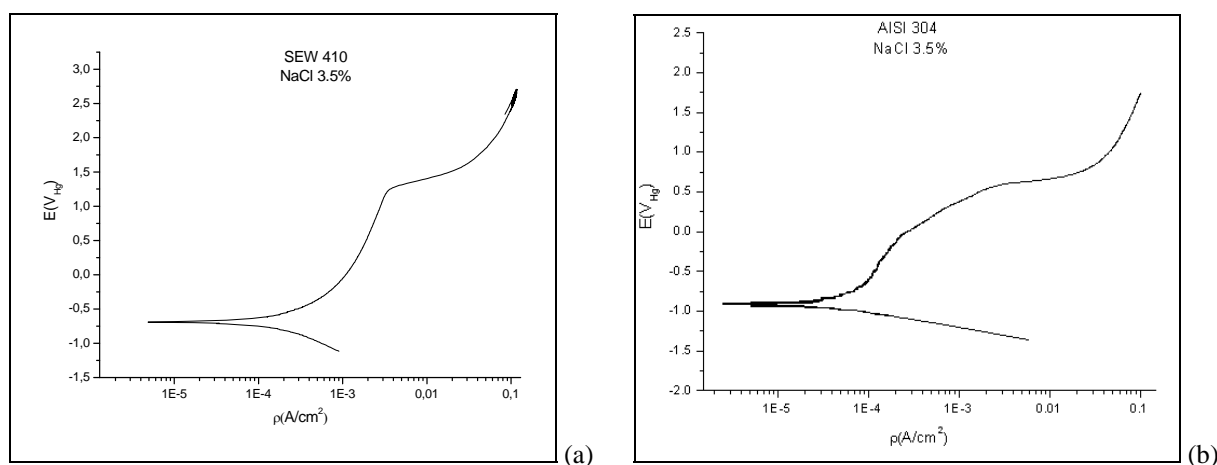


Figura 2. Curvas de polarização linear do aço inoxidável austeno-ferrítico (a) e austenítico (b). Os valores do potencial de pite (V) aparecem no eixo das ordenadas enquanto que os da variação da densidade de corrente durante os ensaios são observados no eixo das abcissas ( $A/cm^2$ ).

#### 4. DISCUSSÕES

Nas Figuras (1a) e (1b) observa-se a diferença microestrutural entre o aço austeno-ferrítico e o austenítico onde no primeiro é típica a presença da fase lamelar austenítica distribuída na matriz ferrítica após o tratamento térmico. No inoxidável austenítico após a solubilização fica evidenciada a distribuição dos grãos parcialmente recristalizados. Os valores da Tabela 2 indicam a maior dureza da amostra do aço inoxidável austeno-ferrítico evidenciada pela presença do maior teor de nitrogênio na composição química. Esta característica pode ser um bom indicativo da melhor resistência ao desgaste em condições agressivas nos meios de cloreto (Gunn, 2001). Quanto ao número equivalente de resistência ao pite  $PREN = \%Cr + 3,3 \%Mo + 0,5 \%W + 16N$ , os valores foram determinados utilizando os teores dos elementos químicos mostrados na Tab. (1). Os valores de 39 para o aço austeno-ferrítico e 20 para o austenítico, indicam uma maior resistência ao pite no primeiro. Esta estimativa é confirmada pelas curvas de polarização linear apresentadas nas Fig(s). (2a) e (2b) onde o maior valor de potencial de pite para o inoxidável austeno-ferrítico indica maior estabilidade da camada passiva em ambientes com cloreto. Conforme a equação, o nitrogênio é importante na resistência à corrosão e a presença de um maior teor no aço austeno-ferrítico é determinante nesta propriedade. Considerando os ensaios realizados, os resultados obtidos corroboram com outros da literatura que indicam a boa adequação dos aços austeno-ferríticos na confecção de componentes para a indústria petroquímica e outras, onde a resistência ao desgaste e à corrosão sejam fatores importantes.

#### 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa complementam estudos comparativos entre o aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 e o austenítico AISI 304L:

- o aço inoxidável austeno-ferrítico apresenta maior dureza após o tratamento térmico de solubilização;
- o valor do potencial de pite é maior no aço inoxidável austeno-ferrítico indicando uma resistência à corrosão em meios de cloreto superior ao do austenítico;

- o valor de potencial de pite superior do inoxidável austeno-ferrítico indica a maior estabilidade da camada passiva;

- a composição química do aço inoxidável austeno-ferrítico é um fator importante na resistência à corrosão.

As conclusões acima relatadas cooperam com o objetivo de substituir os aços inoxidáveis austeníticos pelos austeno-ferríticos na fabricação de componentes submetidos a ambientes agressivos em meios de cloreto.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido por meio do projeto “Efeitos do nióbio no aço inoxidável austeno-ferrítico SEW Nr14517 utilizado na indústria petroquímica”, processo nº 45413860/09 da FAPES e às instituições, CNPq e FUNCEFETS, pelas bolsas de iniciação científica concedidas.

## 7. REFERÊNCIAS

- Clayton C. R. e Martin K. G., 1989, “Conference Proceedings High Nitrogen Steels”, Lille, The Institute of Metals, p. 256-260.
- Finn, M. E. e Srivastava, A. K., 2000, “Machining of Stainless Steel Proceedings”, International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA.
- Gunn, R.N., 2001, “Duplex Stainless Steel: Microstructure, Properties and Applications”, Abington Publishing, Cambridge-England.
- Itman, A.; Rollo, J.M.D.A; Silva, R.V.; Martinez, G., 2005, “Alternative process to manufacture austenitic-ferritic stainless steel wires”, Materials Letters 59, p.1192/94.
- Kawalla, R. e Chabbi, L., 2000, “Metallurgical aspects of thermomechanical rolling in  $\gamma/\alpha$  region and influence on the properties”, Proceedings International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA.
- Pickering, F.B., 1978, “Physical Metallurgy and the Design of Steels: Austenitic Stainless Steels”, Applied Science Publishers Ltd., Cap.11, p.227-268.
- Truman, J.E. e Pirt, K.R., 1983, “Properties of a duplex (austenitic-ferritic) stainless steel and effects of thermal history”, In: Duplex Stainless Steel Conference, Proceedings, p.113-142.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **PITTING POTENTIAL EVALUATION OF THE AUSTENITIC-FERRITIC STAINLESS STEEL SEW 410 NR. 14517 AND AUSTENITIC AISI 304L**

**Andre Itman Filho, andrei@ifes.edu.br**  
**Cleybson Soledade Ferro, bison@ifes.edu.br;**  
**Caroline Croce Pimenta, carol@ifes.edu.br**  
**Rosana Vilarim Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br**

Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729, Jucutuquara, CEP 29040780, Vitória - ES

***Abstract.** Nowadays, the austenitic-ferritic stainless steels are replacing the austenitic ones in many applications, as chemical and oil industries, due to the optimum compromise between mechanical properties and corrosion resistance. In this case, the erosion-corrosion effect associated to saline environment should be prevented to reduce equipments maintenance costs. In the manufacture of these steels, the chemical composition and thermal-mechanical deformation influence the final physical properties. The corrosion resistance of these steels is similar to austenitic steels, but they better resistance to stress corrosion crack propagation. Regarding the great interest in researches related to deep water oil exploitation, the proposal of this study was to compare the corrosion resistance after annealing heat treatment of the austenitic-ferritic stainless steel SEW 410 Nr. 14517 (Cr26Ni6Mo3Cu3) and one commercial austenitic stainless steel AISI 304L. So, galvanostatic tests were accomplished to obtain the pitting potential of these steels in saline solution with 3.5% sodium chloride. Microhardness measurements were accomplished to evaluate the superficial condition of the samples. The austenitic-ferritic stainless steel showed higher hardness and pitting potential indicating a better wear and corrosion resistance. So, the use of this steel in components exposed at saline environment will guarantee larger useful life in relation to austenitic one. This is important to avoid maintenance costs mainly in regions of difficult access.*

***Keywords:** austenitic-ferritic stainless steels, austenitic stainless steels, pitting potential.*