

## INFLUÊNCIA DA SENSITIZAÇÃO NA CORROSÃO LOCALIZADA DE AÇOS INOXIDÁVEIS SUPERMARTENSITICOS<sup>1</sup>

Mariana Perez de Oliveira<sup>2</sup>

José Wilmar Calderón-Hernández<sup>3</sup>

Duberney Hincapié Ladino<sup>3</sup>

Neusa Alonso-Falleiros<sup>4</sup>

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da sensitização na corrosão localizada de amostras comerciais de aço inoxidável supermartensítico 13%Cr, contendo 1%Mo, 0.06%N, 0.025%Nb e 0.1%V. Ensaios de polarização foram realizados em amostras submetidas a diferentes temperaturas de revenimento e utilizando dois eletrólitos. Quatro trechos distintos foram identificados: um trecho catódico, um trecho anódico, logo acima do potencial de corrosão com densidade de corrente menor que  $10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>, seguido de oscilação de densidade de corrente, atribuída à nucleação de pites instáveis, e um trecho final em que há um aumento mais acentuado da densidade de corrente em relação à variação de potencial, atribuído à nucleação de pites estáveis. O efeito da temperatura de revenimento mostrou que a resistência à corrosão por pite é menor nas temperaturas de 500°C. Estudo publicado anteriormente sobre este mesmo aço indica que o nível de sensitização desse aço é máximo em temperaturas de revenimento de 600°C. A disparidade quanto ao pior desempenho em diferentes temperaturas de revenimento pode ser explicada pela diferença na precipitação de carbonetos e nitretos e pela velocidade de difusão dos elementos cromo e molibdênio.

**Palavras-Chave:** Corrosão; Sensitização; Aços inoxidáveis; Supermartensítico.

### INFLUENCE OF THE SENSITIZATION IN THE LOCALIZED CORROSION RESISTANCE OF SUPERMARTENSITIC STAINLESS STEELS

### Abstract

The present work analyses the influence of sensitization on the localized corrosion resistance of supermartensitic commercial samples with 3%Cr, 1%Mo, 0.06%N, 0.025%Nb and 0.1%V. Polarization tests have been performed in samples treated with different tempering temperatures using two different electrolytic solutions. In general, the polarization curves presented four distinct stages: a passive one, one in the anodic region, just above the corrosion potential and at current density below  $10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>, one with oscillating current density, probably caused by nucleation of unstable pits, and a final stage characterized by a sudden increase in the current density, which could be caused by the stable growth of at least one pit. The different tempering temperatures have shown that localized corrosion resistance is the lowest for the temperature of 500°C. Previous studies made on the same steel proved that sensitization levels are at a maximum in the temperature of 600°C. Such difference in the behavior of the steel at different tempering temperatures can be explained by the difference in precipitation of carbides and nitrides and the diffusion speed of chromium and molybdenum.

**Key words:** Corrosion; Sensitization; Stainless steels; Super-martensitic.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico. Doutorando, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EPUSP, São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheira Metalurgista, Mestranda, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheira Metalurgista, Professora Doutora, Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EPUSP, São Paulo, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de aços inoxidáveis supermartensíticos em aplicações relacionadas à extração de óleo e gás tem ganhado espaço já que o material apresenta boa resistência mecânica aliada a resistência à corrosão e a menores custos de aquisição, quando comparado com aços inoxidáveis duplex e superduplex, sendo uma alternativa para ambientes com determinados níveis de ácido sulfídrico e gás carbônico.

Em termos de resistência à corrosão, os aços supermartensíticos estão acima dos aços carbono de alta resistência, que muitas vezes necessitam da aplicação de barreiras à corrosão, encarecendo sua instalação em equipamentos, e abaixo dos aços duplex de alto teor de elementos de liga, de grande resistência à corrosão, mas, muitas vezes, superdimensionados em determinadas aplicações.<sup>(1)</sup>

Aços inoxidáveis supermartensíticos são caracterizados por possuírem uma microestrutura predominantemente martensítica, podendo, de acordo com a composição química, apresentar certa fração volumétrica de ferrita delta, austenita retida e carbonetos.<sup>(2)</sup>

Para que a estrutura martensítica seja obtida após o resfriamento a temperatura ambiente, a solubilização completa do material deve ocorrer dentro do campo austenítico. Entretanto, o baixo nível de carbono, normalmente abaixo de 0.01%, e o mínimo teor de 11% de cromo, necessários para conferir ao aço boa soldabilidade e resistência à corrosão, respectivamente, afetam a estabilidade da fase austenítica, e tornam obrigatória a adição de elementos alfacênicos, evitando a formação de ferrita  $\delta$ , prejudicial à obtenção de propriedade mecânica, trabalhabilidade a quente e resistência à corrosão sobre tensão.<sup>(3)</sup>

Nos aços supermartensíticos, o níquel é o elemento mais utilizado para a estabilização da fase austenítica,<sup>(3)</sup> sendo adicionado em teores que variam de 2 a 6.5%. Excessos de adição de níquel podem levar à presença da fase austenítica a temperatura ambiente, o que acarreta perda nas propriedades mecânicas.<sup>(3)</sup> Além de cromo e níquel, esses aços também contêm teores de molibdênio em torno de 3% para obtenção de maior resistência à corrosão por pite.<sup>(3)</sup>

A Tabela 1<sup>(2)</sup> mostra exemplos de composições químicas típicas desses aços.

Após serem solubilizados, a temperaturas que variam de 950°C a 1.050°C, os aços supermartensíticos são usualmente resfriados ao ar, graças à sua alta temperabilidade.<sup>(3,4)</sup>

Para que se obtenha um equilíbrio entre resistência mecânica e tenacidade, após a têmpera ao ar é realizado um tratamento de revenimento a temperaturas acima da  $A_{c1}$ , que pode variar entre 500°C e 700°C dependendo da composição química do aço.<sup>(1,2)</sup> O revenimento permite o alívio de tensões residuais e a formação de austenita retida, conferindo tenacidade ao material.<sup>(4)</sup>

**Tabela 1.** Exemplos de composições químicas para os aços supermartensíticos (% em massa)<sup>(2)</sup>

	C	Cr	Ni	Mo
Baixo teor de elementos de liga	<0.015	10-12	1.5-2.5	-
Médio teor de elementos de liga	<0.015	11-13	4.0-5.0	1.0-2.0
Alto teor de elementos de liga	<0.015	12	6.0-7.0	2.0-3.0

A Tabela 2<sup>(2)</sup> mostra propriedades mecânicas típicas dos aços supermartensíticos.

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas típicas para aços supermartensíticos<sup>(2)</sup>

	Limite de Escoamento – LE (MPa)	Limite de Resistência a Tração – LR (MPa)	Alongamento (%min)
Baixo teor de elementos de liga	550-650	700-850	≤18
Médio teor de elementos de liga	550-700	750-900	≤18
Alto teor de elementos de liga	600-750	800-950	≤18

Durante o revenimento ou na soldagem de aços martensíticos com 13%Cr, a precipitação de carbonetos de cromo do tipo  $M_7C_3$  e  $M_{23}C_6$  ocorre com certa facilidade e em uma larga faixa de temperaturas, que vão de 400°C a 800°C.<sup>(5)</sup>

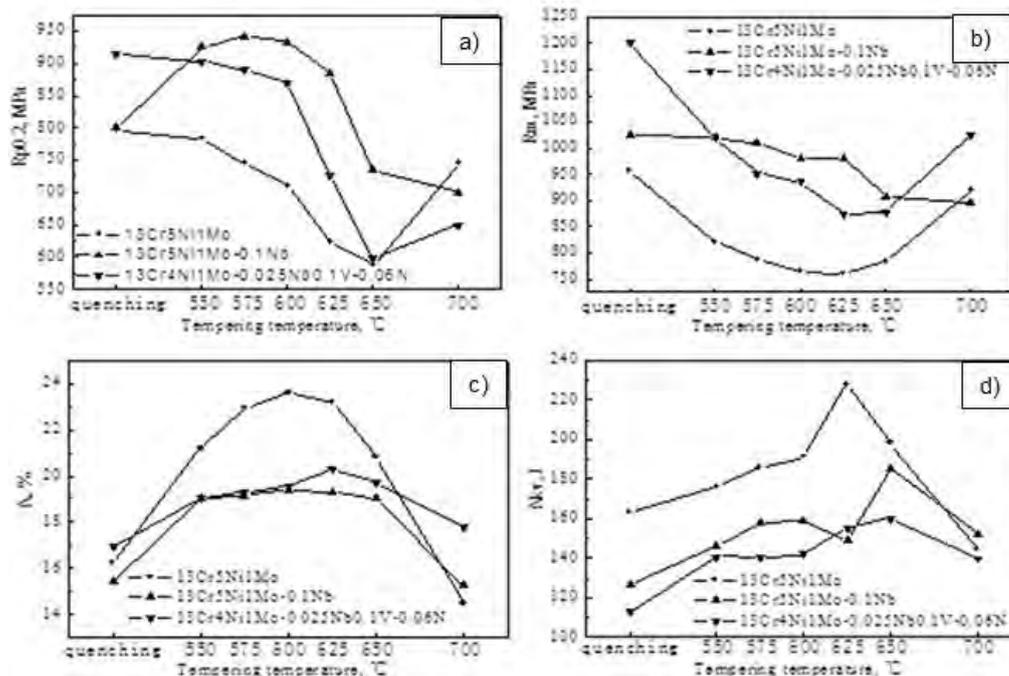
A precipitação de uma fase contendo cromo implica em uma queda de desempenho do aço com relação à resistência à corrosão. Caso a precipitação de cromo ocorra nos contornos de grão, o que é frequente, o aço torna-se sensibilizado, podendo sofrer corrosão localizada nos contornos de grão devido ao empobrecimento de cromo nessas regiões. Para evitar que isso ocorra, podem ser adicionados ao aço elementos fortes formadores de carbonetos, nitretos e/ou carbonitretos, eles estabilizam o carbono e nitrogênio evitando a formação de precipitados de cromo, melhorando a resistência à corrosão e trazendo aumento de resistência mecânica. Os elementos mais comumente usados como estabilizadores em aços inoxidáveis são o nióbio e o titânio.

O presente trabalho visa analisar a influência da precipitação de carbonetos de cromo no contorno de grão, chamada condição de sensibilização, na corrosão localizada de amostras comerciais de um aço inoxidável supermartensítico contendo 13%Cr, 1%Mo, 0.06%N, 0.025%Nb e 0.1%V. A resistência à corrosão localizada deste aço já foi objeto de estudo por Xiaoping et al.,<sup>(6)</sup> que encontraram um máximo de resistência à corrosão à temperatura de revenimento de 575°C. Este trabalho, entretanto, explorou intervalos de temperaturas distintos o que impede a comparação direta entre os resultados obtidos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras laminadas a quente com espessura de 12mm de aço supermartensítico, doadas pela *Mc Master University* e *North Eastern University of China*, foram usadas no estudo. A composição química do material é fornecida na Tabela 3.

As amostras foram austenitizadas a 1050°C por 30 minutos, temperadas a óleo e então revenidas a temperaturas de 400°C, 500°C, 600°C e 700°C, seguido de resfriamento ao ar. Tais temperaturas foram escolhidas com base no trabalho de Xiaoping et al.<sup>(6)</sup> A Figura 1 a) a e), retiradas de Xiaoping et al.,<sup>(6)</sup> que estudaram diferentes composições de aços supermartensíticos, mostram as propriedades mecânicas obtidas para esse aço (13Cr4Ni1Mo-0.025Nb0.1V-0.06N) a diferentes temperaturas de revenimento.



**Figura 1.** Propriedades mecânicas de aços martensíticos 13%Cr em função da temperatura de revenido. a) Limite de escoamento (Rp 0.2) em Mpa; b) Limite de resistência a tração (Rm) em Mpa; c) Alongamento (A%) e e) Energia de impacto – ensaio Charpy a temperatura ambiente (Akv) em J.<sup>(6)</sup>

**Tabela 3.** Composição química do aço estudado (% em massa)

	Cr	Ni	Mo	Mn	V	Nb	N	C	P	S
13Cr5Ni1Mo-0.025Nb-0.1V-0.06N	12.8	5.3	0.9	0.6	0.1	0.03	0.06	0.03	0.01	0.009

Após o tratamento térmico, as amostras foram lixadas até lixa 600 e embutidas em baquelite, sendo que a face exposta, de 1cm<sup>2</sup> de área, é aquela transversal à direção de laminação.

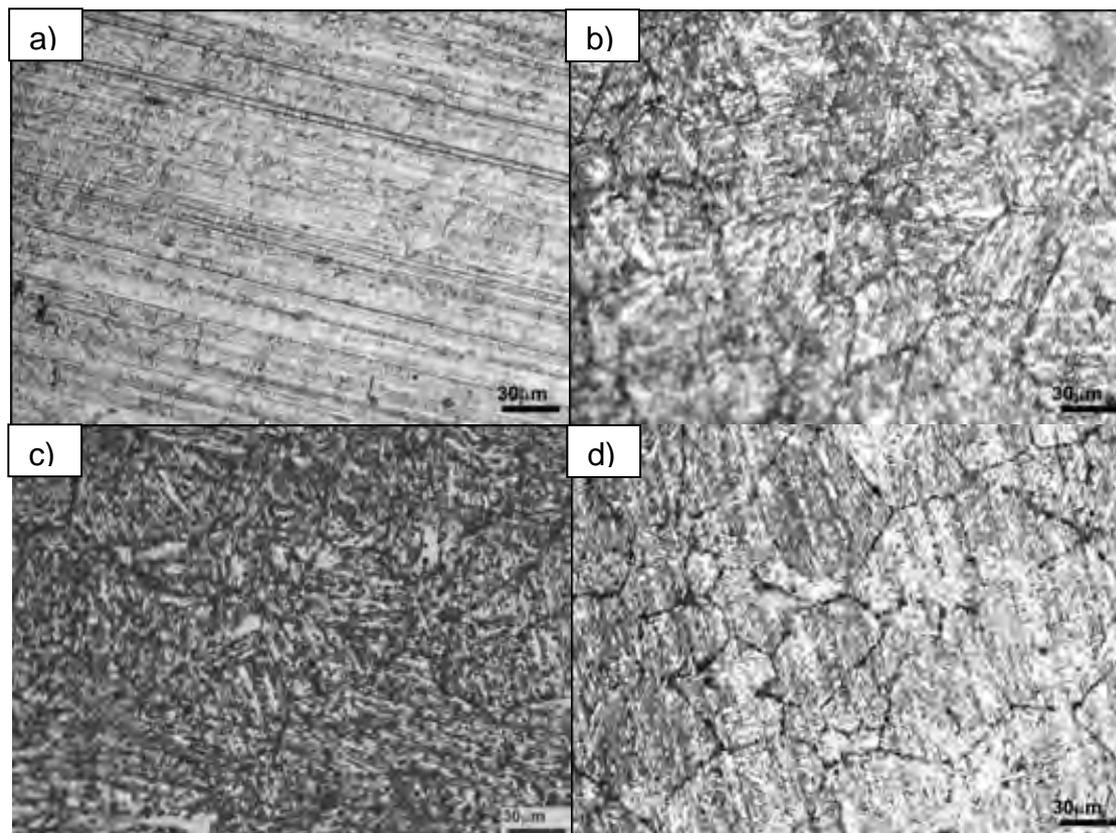
A determinação do grau de sensitização das amostras revenidas nas quatro diferentes temperaturas e a análise microestrutural das mesmas estão descritas em trabalho anterior, publicado por Calderón et al.<sup>(7)</sup>

Para o estudo da corrosão localizada foram feitos ensaios de polarização potenciodinâmica eletroquímica. Para os ensaios foi usado um potenciostato/galvanostato modelo 273A e o software PowerSuite, célula de corrosão modelo K0047, eletrodo de calomelano saturado (ECS) e um fio de platina como contra eletrodo; todo o aparato experimental foi manufaturado pela empresa PRINCETON APPLIED RESEARCH (PAR). A varredura contínua do potencial foi iniciada com sobretensão catódica de 250mV, no sentido anódico até 1600mV, ECS e velocidade constante de 1.0 mV/s. Os ensaios foram realizados à temperatura de 22 ± 2°C e com duas soluções eletrolíticas distintas: 0.6M NaCl + 0.15M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 0.6M NaCl + 0.6M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pelo menos dois ensaios foram feitos para cada condição.

Após os ensaios de corrosão localizada, as amostras foram limpas com água destilada e álcool, secas e observadas em microscópio óptico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

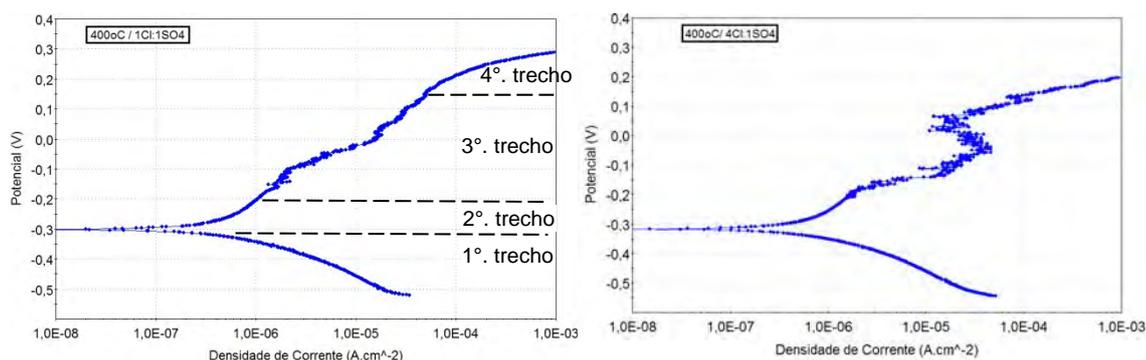
As microestruturas das amostras após ensaio de determinação do grau de sensitização (Reativação Potenciodinâmica – Duplo Loop – DL-EPR), obtidas em estudo realizado por Calderón et al.,<sup>(7)</sup> estão reproduzidas na Figura 2 a) a d), para cada uma das quatro temperaturas estudadas. O ensaio DL-EPR permite a quantificação das regiões empobrecidas em cromo, devido à precipitação de carbonetos de cromo. As regiões reveladas nas micrografias são as regiões empobrecidas em cromo.



**Figura 2.** Micrografias em microscópio óptico, do aço 13Cr5Ni1Mo-0.025Nb-0.1V-0.06N após ensaio DL-EPR em solução 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN para temperaturas de revenimento de a) 400°C; b) 500°C; c) 600°C e d) 700°C.<sup>(7)</sup>

Pode-se observar a presença de uma estrutura predominantemente martensítica nas temperaturas de revenimento de 500°C, 600°C e 700°C. De acordo com Calderón et al.,<sup>(7)</sup> os resultados obtidos nos testes de determinação do grau de sensitização foram confirmados pela análise das microestruturas feita após o teste. Concluiu-se que o aço revenido a 600°C foi o que mostrou maior grau de sensitização.<sup>(7)</sup> O aço revenido a 400°C não mostrou evidências de ataque ao reagente utilizado ou de sensitização.

Para os ensaios de corrosão localizada, observou-se, para ambos os eletrólitos estudados e para todas as temperaturas de revenimento avaliadas, um formato de curva característica. A Figura 3 mostra as curvas obtidas para a temperatura de revenimento de 400°C nos eletrólitos 0.6M NaCl + 0.6M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1Cl<sup>-1</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) e 0.6M NaCl e 0.15M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(4Cl<sup>-1</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).



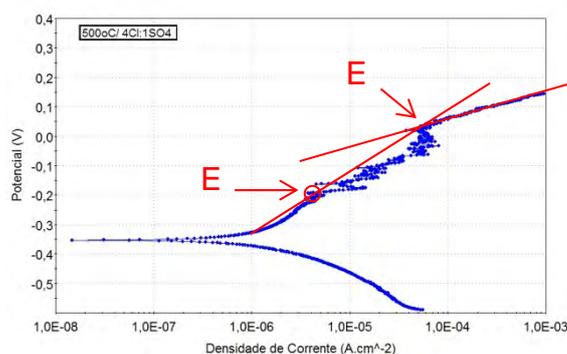
**Figura 3.** Curvas potencial de eletrodo (V) em função da densidade de corrente ( $A \cdot cm^{-2}$ ) a  $400^{\circ}C$  para a solução  $0.6M NaCl$  e  $0.6M Na_2SO_4$  (direita) e para  $0.6M NaCl$  e  $0.15M Na_2SO_4$  (esquerda).

De maneira geral, as curvas apresentaram quatro trechos distintos, um trecho catódico, um trecho anódico, logo acima do potencial de corrosão com densidade de corrente menor que  $10^{-6} A/cm^2$ , seguido de um trecho anódico com oscilação de densidade de corrente e um quarto trecho em que há um aumento mais acentuado da densidade de corrente em relação à variação de potencial.

Devido ao comportamento incomum apresentado no trecho anódico foram medidos dois potenciais distintos para a análise e comparação das curvas.

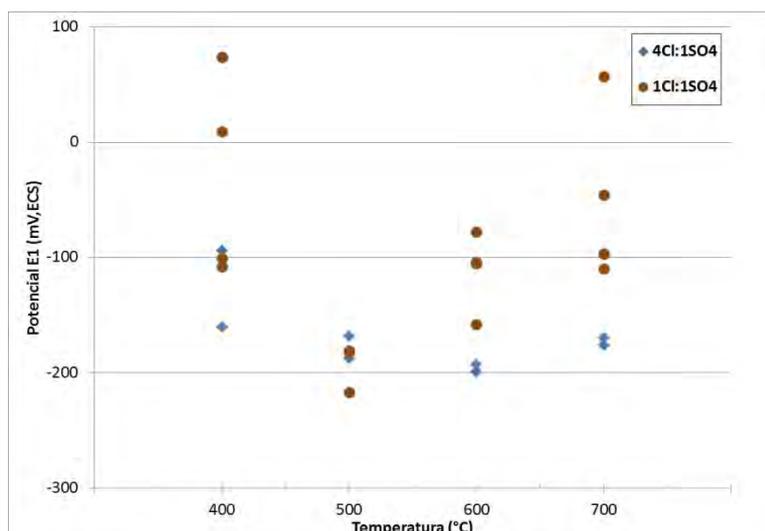
O potencial mais baixo, em que há o início da oscilação de corrente no trecho anódico, foi chamado de E1 e o potencial de maior valor, no qual há mudança de inclinação da curva, foi chamado E2. A Figura 4 ilustra o método utilizado para a identificação de E1 e E2. Para determinação de E2 foi usado o método das tangentes.

A presença de maiores quantidades de sulfato no eletrólito  $0.6M NaCl + 0.6M Na_2SO_4$  provou ser inibidora da ocorrência de pites instáveis, diminuindo as oscilações de densidade de corrente observadas no terceiro trecho das curvas.



**Figura 4.** Exemplo do método utilizado para determinação dos potenciais E1 e E2, eletrólito  $4Cl^{-1}:1SO_4^{-2}$  a  $500^{\circ}C$ .

Os resultados das medidas experimentais de E1 e E2 em função das temperaturas de revenimento são apresentados nas Figuras 5 e 6 para as soluções  $4Cl^{-1}:1SO_4^{-2}$  e  $1Cl^{-1}:1SO_4^{-2}$ . Não são apresentados valores médios e desvios padrão devido ao pequeno número de repetições feitas para o eletrólito  $4Cl^{-1}:1SO_4^{-2}$ , resultado da quantidade limitada de material disponível para a realização do ensaio.



**Figura 5.** Valores do potencial E1 (mV,ECS) para os eletrólitos 0.6M NaCl+ 0.15M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) e 0.6M NaCl + 0.6M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) em função das temperaturas de revenimento (°C).

O potencial E1 foi identificado como sendo o potencial em que a nucleação de pites instáveis é iniciada. Pode-se observar que os valores de E1 são maiores para a solução com maior teor de sulfato (1Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), o que era esperado já que a solução apresenta menor agressividade para a corrosão localizada.

Nota-se que o efeito da temperatura de revenimento é mais acentuado para o eletrólito menos agressivo (1Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) do que para o mais agressivo (4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Isso indica que o eletrólito menos agressivo é o mais indicado para a análise da influência da temperatura de revenimento na corrosão localizada já que possibilita identificar com maior clareza a influência da temperatura.

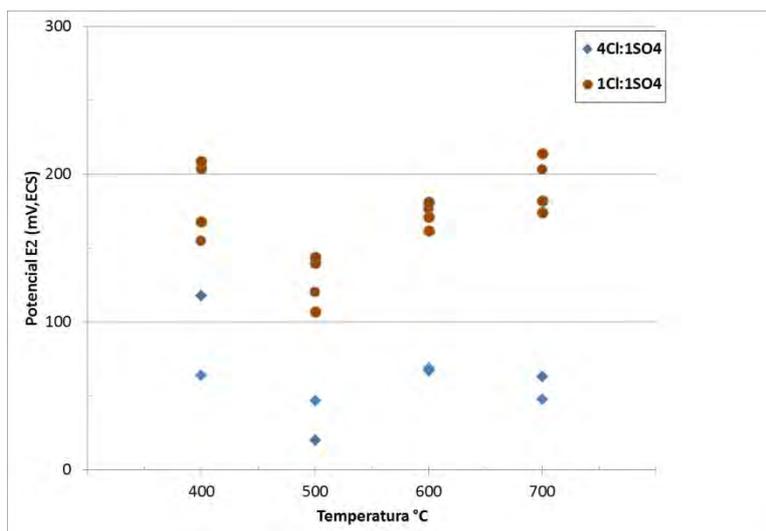
Os valores de E1 apresentam maior dispersão para a solução menos agressiva pois esta, por diminuir a oscilação da densidade de corrente, dificulta a leitura mais precisa de E1.

É possível afirmar que a temperatura de 500°C apresentou os menores valores de E1, seguida da temperatura de 600°C. Os valores de potencial mais alto foram apresentados a 400°C e 700°C.

O potencial E2, medido através do método das tangentes, evidencia o início do trecho em que há o crescimento de pelo menos um pite estável. Conforme esperado, o eletrólito mais agressivo (4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) apresentou menores valores para o potencial E2, e, conseqüentemente, menor resistência à corrosão por pite.

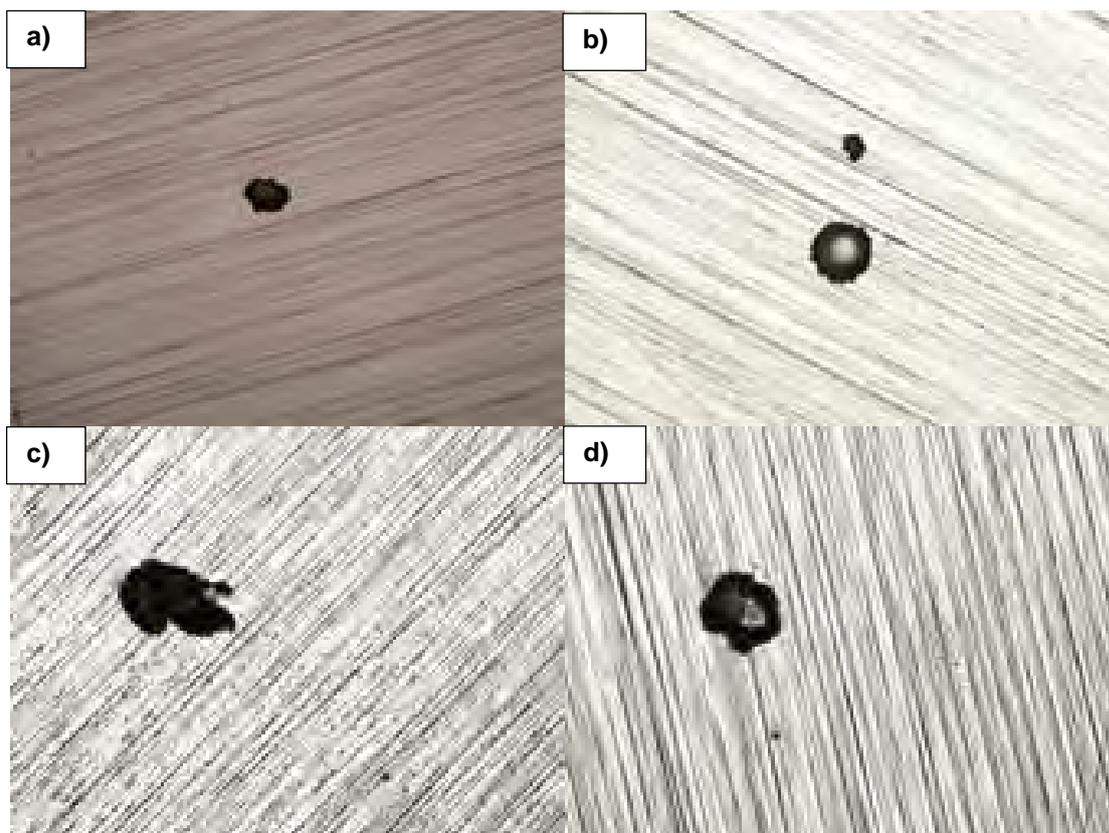
Como observado para as medidas de E1, a temperatura de 500°C foi a que apresentou menores valores de E2, tendo o pior desempenho quanto à corrosão por pite.

Para o eletrólito mais agressivo, pode-se observar que os valores de E2 para as temperaturas de 600°C e 700°C são praticamente equivalentes, o que não ocorre para a solução de maior teor de sulfato, na qual é possível observar um melhor desempenho do material revenido a 700°C. Isso está de acordo com o observado para os valores de E1, indicando uma tendência a desempenho superior do aço a 700°C quando comparado com o aço tratado a 600°C. A temperatura de 400°C apresentou os maiores valores de E2 para ambas as soluções.



**Figura 6.** Valores do potencial E2 (mV,ECS) para os eletrólitos 0.6M NaCl+ 0.15M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) e 0.6M NaCl + 0.6M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) em função das temperaturas de revenimento (°C).

A Figura 7 mostra os pites observados nas amostras em microscópio ótico após a realização dos ensaios de polarização no eletrólito 4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.



**Figura 7.** Análise em microscópio ótico das amostras submetidas ao teste de polarização na solução 0.6M NaCl+0.15M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (4Cl<sup>-</sup>:1SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), aumento 200X, a temperatura de revenimento de a) 400°C, b) 500°C, c) 600°C e d) 700°C.

Acredita-se que a diferença de desempenho do aço a temperaturas de revenimento distintas deve-se à precipitação de carbonetos de cromo tipo M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> e M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, que

ocorre, como citado anteriormente, na faixa de temperaturas de 400°C a 800°C **Erro! Indicador não definido.** Essa precipitação origina empobrecimento do teor de cromo na vizinhança do precipitado. O grau de empobrecimento depende da velocidade de formação dos precipitados e da difusão desse elemento até as regiões empobrecidas, o que leva a recuperação da resistência à corrosão dessas áreas devido à homogeneização da composição química quanto aos teores de cromo.

A 400°C a cinética de precipitação de carbonetos de cromo se dá de maneira mais lenta, tal fato é confirmado pela Figura 2 a), que não mostra ataque do reagente utilizado nem sinais de sensitização, indicando a ausência de precipitados de cromo intragranulares ou intergranulares e, portanto, a presença de maior quantidade de cromo dissolvido de maneira homogênea na matriz.

À medida que a temperatura de revenimento aumenta, pode-se observar através das Figura 2 b), c) e d) a presença de regiões empobrecidas em cromo, devido à precipitação de carbonetos nos contornos de grão e na matriz martensítica. Entretanto, a 700°C é possível constatar uma menor quantidade de regiões empobrecidas em cromo devido ao menor ataque produzido pelo reagente na matriz, indicando que, possivelmente, graças à maior difusividade do cromo na temperatura em que foi feito o tratamento térmico, o aço tem o teor desse elemento homogeneizado na matriz e ao longo dos contornos de grão, e, conseqüentemente maior resistência à corrosão.

A 600°C a diferença na quantidade de região pobre em cromo é mais evidente, como mostra a Figura 2 c). A medida feita por Calderón et al.<sup>(7)</sup> confirma que o aço a 600°C tem maior grau de sensitização. Entretanto, os potenciais E2 apontam para uma menor resistência à corrosão localizada nas amostras de 500°C para ambos os eletrólitos.

O fato da disparidade quanto ao pior desempenho para sensitização e corrosão localizada ocorrer em diferentes temperaturas de revenimento pode ser explicado se for lembrado que, além do elemento cromo, outros elementos também podem precipitar carbonetos e difundirem pela matriz. Um desses elementos é o molibdênio, o qual é adicionado para incrementar a resistência à corrosão por cloreto, mas também é capaz de precipitar carbonetos. A 600°C a difusão desses elementos é facilitada, ocasionando um menor gradiente na concentração destes do precipitado para a matriz e melhor desempenho quanto à corrosão localizada a 600°C.

O grau de sensitização pelo método DL-EPR quantifica as regiões empobrecidas em cromo, por sua vez, não é conhecida a capacidade desse método de determinar o empobrecimento em molibdênio. Assim, tem-se o maior empobrecimento em cromo a 600°C e, possivelmente, o maior empobrecimento em molibdênio a 500°C, o que explicaria as diferenças de resistência a um e outro tipo de corrosão aqui apresentadas.

Outro ponto que deve ser lembrado é o efeito do nitrogênio sobre a resistência à corrosão por pite. Espera-se, dado os resultados obtidos, uma precipitação de nitretos mais acentuada na temperatura de 500°C, o que, juntamente com o empobrecimento de molibdênio, contribui para diminuir o potencial E1 e E2.

#### **4 CONCLUSÃO**

As curvas de polarização realizadas apresentaram comportamento incomum no trecho anódico e por isso foram medidos dois potenciais distintos para a análise e comparação das curvas.

O potencial mais baixo, onde há início da oscilação de densidade de corrente, caracteriza o início da formação de pites instáveis; a presença de maiores quantidades de sulfato no eletrólito provou ser inibidora dessa formação, diminuindo a variação observada no segundo trecho das curvas.

O potencial mais elevado evidencia o início do trecho em que há o crescimento de pelo menos um pite estável. Conforme o esperado, o eletrólito com menor concentração de sulfato apresentou menores valores para esse potencial em todas as amostras revenidas e, conseqüentemente, menor resistência à corrosão por pite.

Os resultados mostraram que o pior desempenho quanto à resistência à corrosão por pite ocorre a 500°C, enquanto o maior grau de sensitização ocorre a 600°C.<sup>(7)</sup> Isso pode ser discutido pelas diferenças de precipitação de carbonetos e nitretos e pela difusão de cromo e molibdênio.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) pelo suporte à realização desta pesquisa.

### REFERÊNCIAS

- 1 TOUSSAINT, P.; DUFRANE, J.J. Advances in the Making and Base Material Properties of Super Martensitic Stainless Steels (SMSS). Supermartensitics 2002, KCI Publishing BV, Bélgica, 2002.
- 2 JOCHUM, C.; HEUSER, H.; SÖLCH, R. Properties of Matching Filler Metals for Supermartensitic Pipelines. Supermartensitics 2002, KCI Publishing BV, Bélgica, 2002.
- 3 KONDO, K.; UEDA, M.; OGAWA, K.; AMAYA, H.; HIRATA, H.; TAKABE, H.; MIYAZAKI, Y. Alloy design of super 13Cr – Development of super 13Cr martensitic stainless steel for line pipe-1. Supermartensitic Stainless Steels 99, Belgium Welding Institute, Bélgica, 1999.
- 4 VLASTIMIL, V.; MIROSLAV, T.; ALES, K. Heat treatment of supermartensitic steels. Izynieria Materialowa, NR5, p. 939-941, 2001.
- 5 VIYANITI, E. apud GOOCH, T.G.; WOLLIN, P. AND HAYNES. A.G. Numerical Simulation of Hydrogen Assisted Cracking in Supermartensitic Stainless Steel Welds. Dissertação de Mestrado, BAM, Hamburgo, 2005.
- 6 XIAOPING, M.; CHENG, Z.; LIJUNG, W.; CHUNMING, L.; SUBRAMANIAN, S. AND OLIVEIRA, M. Role of Nb in 13Cr Super-Martensitic Stainless Steel. 10th Brazilian Stainless Steel Conference, Rio de Janeiro, Brasil, Setembro, 2010.
- 7 CALDERÓN, W.; HINCAPIE D., OLIVEIRA M.; ALLONSO F. Intergranular Corrosion in a Super-Martensitic Stainless Steel Containing 0.06N-0.025Nb-0.1V. 10th Symposium on Electrochemical Methods in Corrosion Research, Maragogi, Brasil, 18 a 23 de Novembro, 2012.