

EFEITO DA LAMINAÇÃO E TRAÇÃO A FRIO NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO AISI 304¹

Nathanael Wagner Sales Moraes²
Neuman Fontenele Viana²
Hamilton Ferreira Gomes de Abreu²

Resumo

Neste trabalho se avaliou como a resistência à corrosão por pites do aço inoxidável austenítico AISI 304 se comporta após deformação por tração ou por laminação a frio. Foram deformados corpos de prova reduzindo a espessura em 10%, 20% e 30% nos dois tipos de esforços. A presença de martensita induzida por deformação bem como o seu aumento com o grau de deformação foram verificados pela análise metalográfica, difração de raios-x e difração de elétrons retro-espalhados (EBSD). Utilizando a técnica de polarização potenciodinâmica verificou-se que à medida que a deformação aumenta, o material perde resistência à corrosão por *pitting*.

Palavras-chave: AISI 304; Martensita induzida por deformação; Corrosão por pites.

EFFECT OF COLD ROLLING AND DEFORMATION BY TENSION IN THE CORROSION RESISTANCE OF THE AISI 304 STEEL

Abstract

This study evaluated the resistance to pitting corrosion behavior of AISI 304 austenitic stainless steel after tensile deformation or cold rolling. Specimens were deformed by reducing the thickness by 10%, 20% and 30% in both types of efforts. The presence of strain induced martensite and its increase with the degree of deformation were observed by metallographic analysis, X-ray diffraction and electron back-scattered (EBSD). Using the potentiodynamic polarization technique was found that as the deformation decreases the material resistance to pitting corrosion.

Keywords: AISI 304; Strain induced martensite; Pitting corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 65^o Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando em Engenharia Metalúrgica. Laboratório de Ensaios Metalográficos. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Universidade Federal do Ceará

³ Físico. Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Ceará.

⁴ Engenheiro Naval. Professor associado da Universidade Federal do Ceará e diretor do Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Ceará.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis austeníticos combinam boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão. Sabe-se também, que os mesmos apresentam suscetibilidade à corrosão por halogênios de modo geral (cloretos, brometos, fluoretos e iodetos), os quais conseguem romper a camada passivadora desses aços em alguns pontos, causando o fenômeno conhecido como corrosão por pitting, que é influenciada diretamente pela concentração dos íons e pela temperatura. Dentre os íons citados, o íon cloreto representa o maior problema devido à sua abundância na natureza e a sua elevada capacidade de rompimento da camada passiva.⁽¹⁾

Uma das maneiras de se melhorar as propriedades mecânicas desses aços é através de trabalho a frio, pois os mesmos não são endurecíveis por tratamento térmico. Quanto maior o grau de deformação, maior será o endurecimento nesses aços tanto pelo encruamento da austenita quanto pela formação de martensita induzida por deformação.^(2,3)

A deformação a frio no aço AISI 304 causa, além do encruamento, uma transformação parcial da austenita em martensita.⁽⁴⁾ Esta transformação, segundo alguns autores, gera uma estrutura HCP (ϵ), paramagnética, que posteriormente passa a CCC (α') que é ferromagnética.⁽⁵⁾

O efeito da deformação a frio sobre a resistência à corrosão por pites desses aços é pouco conhecido, não permitindo conclusões científicas.⁽⁶⁾ Assim, este trabalho pretende investigar como a resistência a corrosão por pites se comporta em função do grau e do tipo de esforço aplicado ao aço inoxidável austenítico AISI 304.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado para este trabalho foi o aço inoxidável austenítico AISI 304 com a seguinte composição química:

Tabela 1: Composição química do aço AISI 304 utilizado

Elemento	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Fe
% W	0.05	0.400	0.96	7.3	17.8	0.034	0.002	Bal.

Foram cortadas 12 tiras de 20mmx100mmx3mm onde 6 das mesmas foram laminadas à temperatura ambiente com graus de redução 10%, 20% e 30% e as demais sofreram deformação por tração nos mesmos graus de deformação. Após as deformações, foram retiradas duas amostras de cada tira para os ensaios de corrosão, e uma para metalografia e difração de raios-x.

As deformações por tração foram feitas em uma máquina Instron 8802 e as laminações foram feitas passo a passo e apenas em uma direção em laminador laboratorial.

Os ensaios de polarização foram realizados utilizando-se uma solução de 0.5M NaCl + 0.5M H₂SO₄ em um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 30, com um contra eletrodo de platina e um eletrodo de referência Ag/AgCl saturado em KCl. Os eletrodos de trabalho foram confeccionados embutindo-se amostras de cada tira em resina cristal e em seguida lixadas até a granulometria de 400 grana. Após o lixamento, as bordas foram recobertas com esmalte acrílico a fim de evitar que a corrosão por frestas (resina/amostra) interferisse nos ensaios de polarização.

Os ensaios metalográficos foram realizados lixando-se cada amostra até a granulometria de 1.200 grana e posteriormente polindo com pasta de diamante até a granulometria de 1 μm . A análise microestrutural não teve como fim a revelação dos contornos de grão, mas das fases presentes no material, logo, utilizou-se um reagente específico, uma modificação do reagente Rigsbee and Vander Arend (150 ml de água, 2 ml de HF, 50 ml de ácido acético e 2 g de persulfato de amônio)⁽⁷⁾ devido à lenta cinética de ataque, foi duplicada a quantidade dos componentes à exceção da água, “criando” o S-Rigsbee and Vander Arend (150 ml de água, 4 ml de HF, 100 ml de ácido acético e 4g de persulfato de amônio).

O tempo de ataque para a revelação das fases para as amostras na condição tracionada variou com o percentual de deformação de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Tempos de ataque para cada a obtenção das micrografias da Figura 1

AMOSTRA (grau percentual de deformação)	TEMPO DE ATAQUE (h)
0	1/60 a 6V (dc) ácido oxálico
10	16 (S-Rigsbee and Vander Arend)
20	6 (S-Rigsbee and Vander Arend)
30	3 (S-Rigsbee and Vander Arend)

O tempo de ataque para as amostras na condição laminada a frio foi o mesmo para todas as condições: 3 horas.

Os ensaios de difração de raios-x foram feitos utilizando-se um difratômetro PanAnalytical X-Pert utilizando um tubo de cobalto com passo de 0.013°, tendo como início a posição de 10° e como final a posição de 120°.

As análises por EBSD foram realizadas em uma câmera acoplada a um MEV Phillips XL-30, utilizando a Magnificação de 1.000x e o software INCA para aquisição e tratamento das imagens obtidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises Metalográficas

3.1.1 Condição tracionada

A Figura 1 contém as micrografias ópticas para a condição como recebida e para cada grau de deformação por tração.

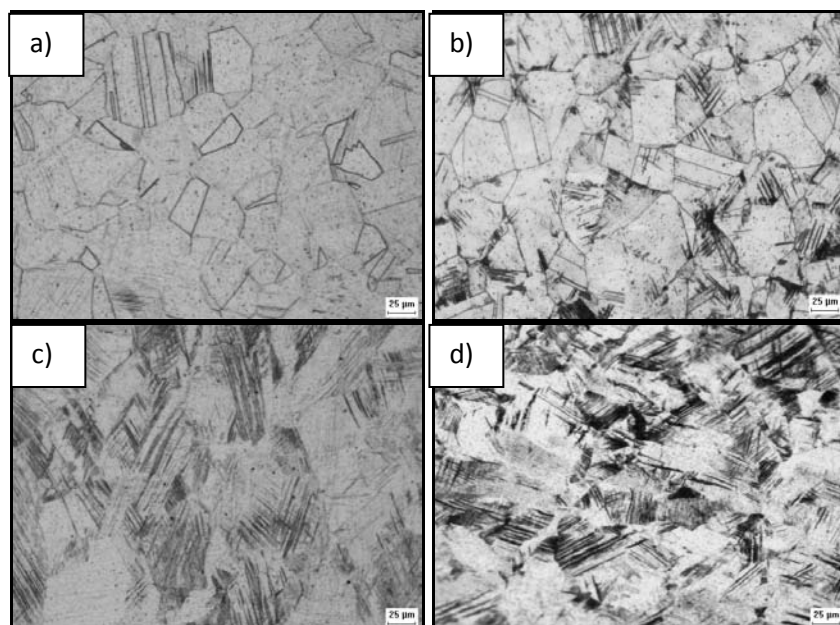


Figura 1 : Micrografias ópticas para cada grau de deformação por tração. a) condição como recebido, b) condição tracionado 10%, c) condição tracionado 20%, d) condição tracionado 30%. (Micrografia óptica com aumento de 200x: AISI 304 nas várias condições de deformação por tração)

A microestrutura mostrada na Figura 1(a) apresenta uma grande quantidade de maclas e uma estrutura predominantemente austenítica. Com o progresso da deformação, nota-se um aumento da área escura, indicativo de um aumento de bandas de deformação e do percentual de martensita induzida por deformação.

3.1.2 Condição laminada a frio

A Figura 2 compara as micrografias ópticas da condição como recebida com as micrografias nos três graus de redução de espessura.

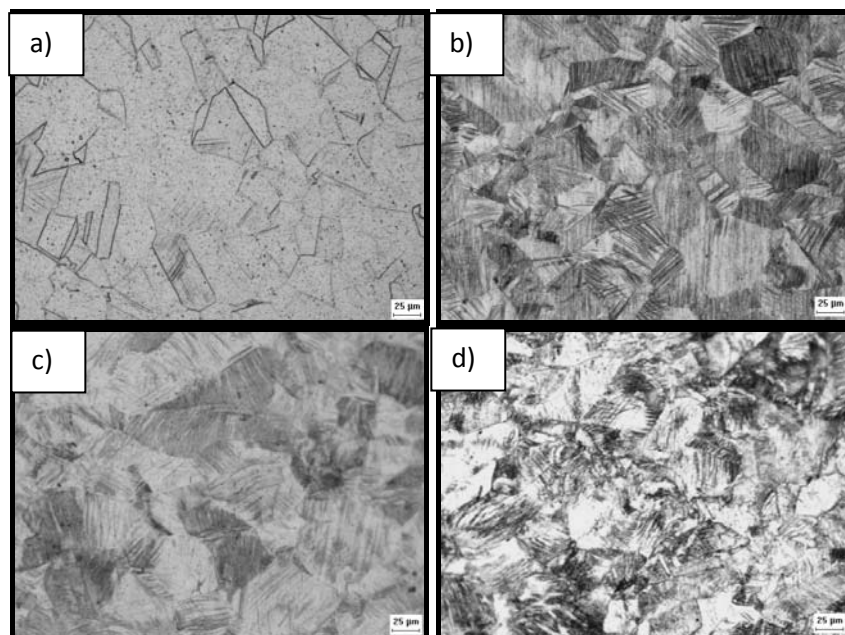


Figura 2: Micrografias ópticas para a condição como recebido e para cada grau de deformação por laminação a frio, a) como recebido, b) laminado a frio 10%, c) laminado a frio 20%, d) laminado a frio 30%. (Micrografia óptica com aumento de 200x: AISI 304 laminado nas condições de deformação por laminação à frio)

Nota-se que há um aumento na área escura das micrografias com o progresso do grau de deformação, indicando um aumento das bandas de deformação e sugerindo um aumento na quantidade de martensita no material.

3.2 Análises por Difração de Raios-X

3.2.1 Condição tracionada

A Figura 3 possui os padrões de difração obtidos para o aço no estado como recebido e para cada estado de deformação por tração. Os picos indexados com números correspondem a picos de austenita e os picos indexados com letras correspondem aos de martensita.

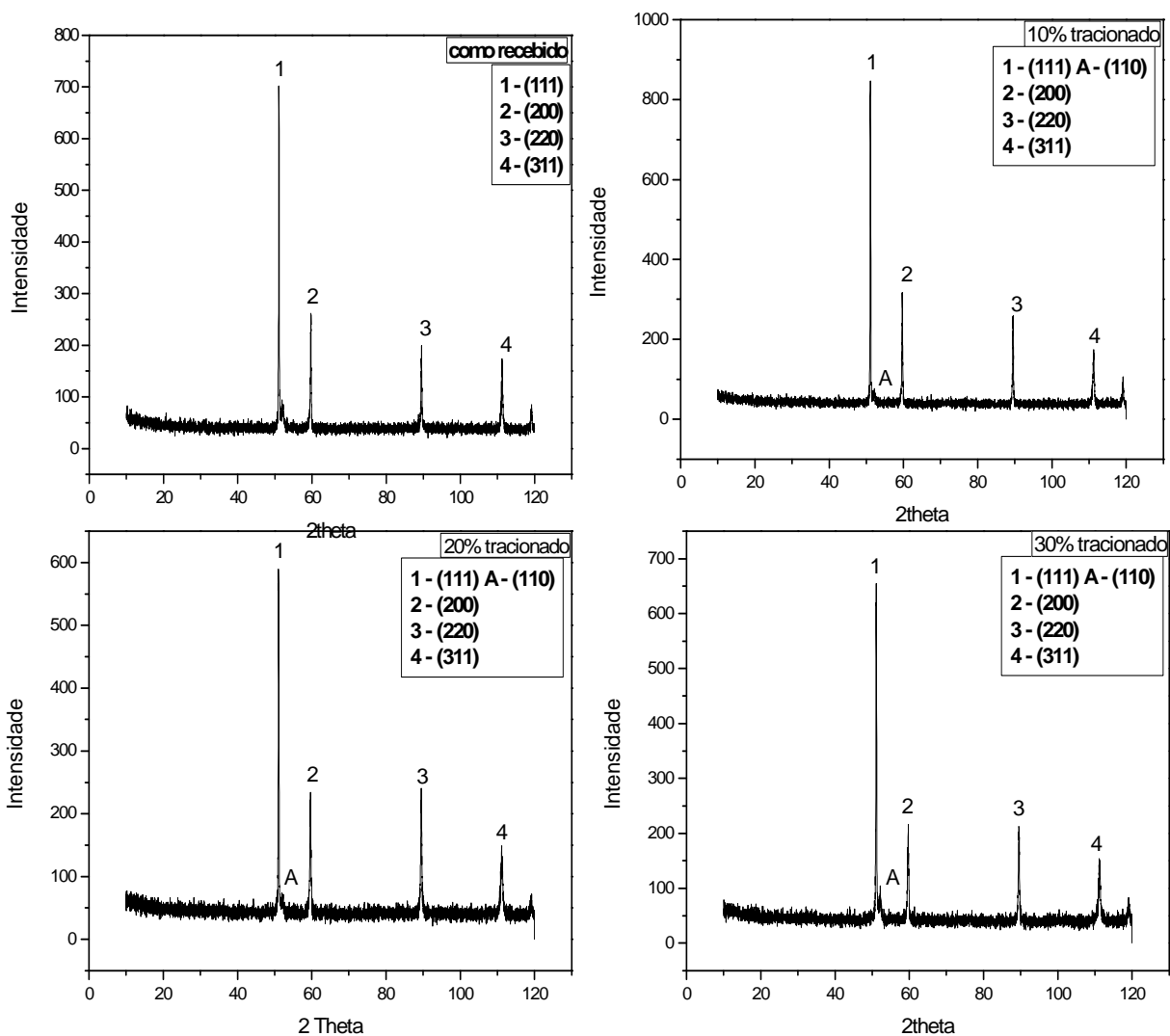


Figura 3: Padrões de difração para as amostras como recebido e para cada condição de deformação por tração. As identificações para cada difratograma estão indicados nos mesmos.

3.2.2 Condição laminada a frio

A Figura 4 possui os padrões de difração obtidos para o aço no estado como recebido e para cada estado de deformação por laminação à frio. Os picos indexados com números correspondem a picos de austenita e os picos indexados com letras correspondem aos de martensita.

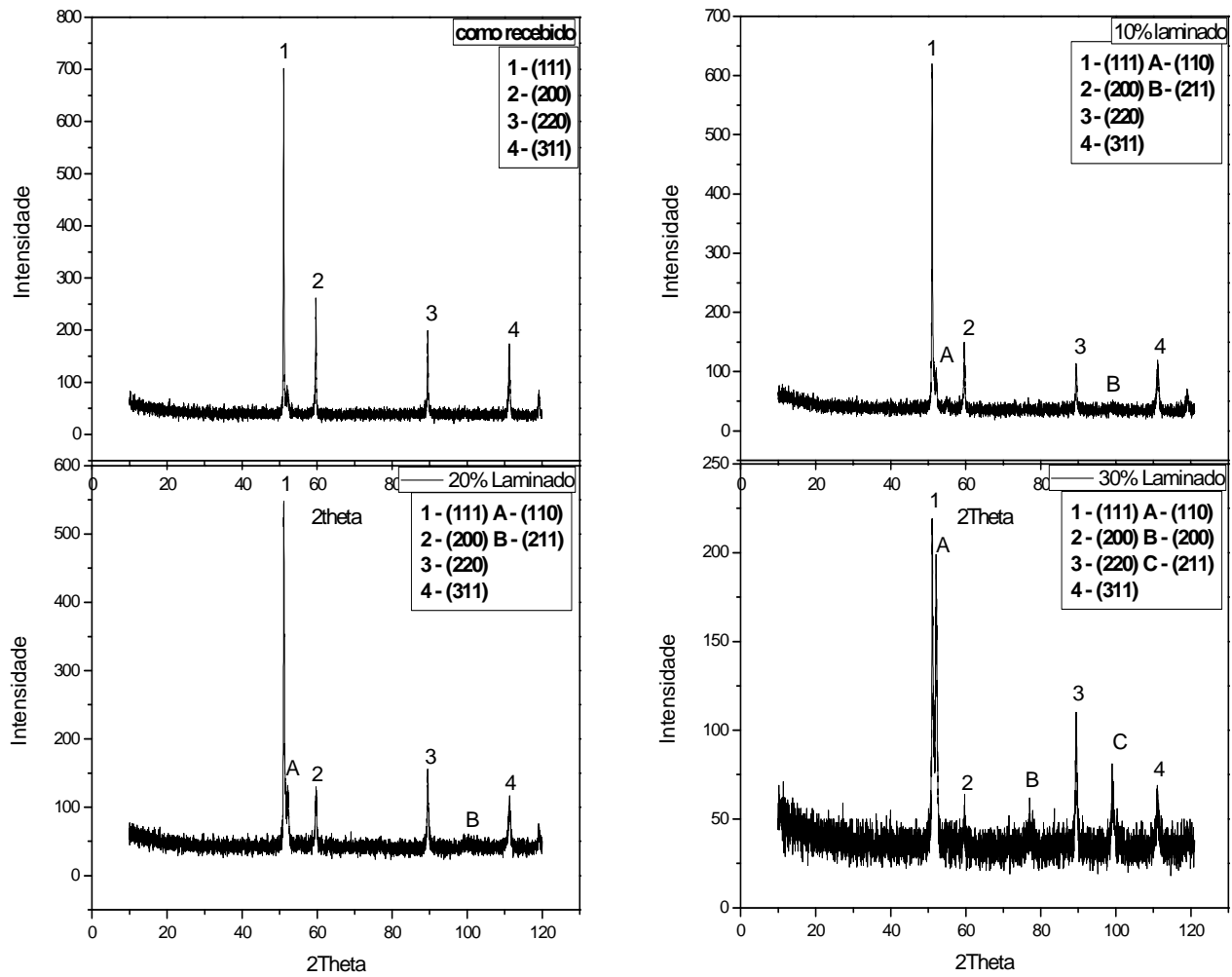


Figura 4: Padrões de difração para as amostras como recebido e para cada condição de deformação por tração. As identificações para cada difratograma estão indicados nos mesmos.

3.3 Análises por EBSD

3.3.1 Condição tracionada

As análises por EBSD tiveram como finalidade confirmar a presença de martensita em amostras com pouca deformação, pois a difração não foi capaz de detectá-la adequadamente devido à pouca quantidade dessa fase. Na Figura 5, está a imagem adquirida através de EBSD para a condição tracionada 10%.

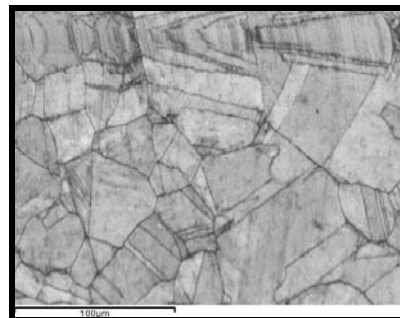


Figura 5: Imagem obtida por EBSD da amostra na condição tracionada 10%.

Note que há áreas escuras no interior dos grãos, principalmente na parte superior, áreas que foram identificadas como sendo martensita, provando sua presença mesmo com baixa deformação.

Analisar as outras condições não se mostrou interessante devido à alta deformação da austenita. Devido às limitações da técnica, a alta deformação não permite boa identificação dos padrões de Kikuchi, sendo assim, inviável utilizar para as deformações superiores.

3.3.2 Condição laminada a frio

A análise por EBSD na condição laminada a frio 10% foi empregada para ratificar a presença da martensita mesmo com baixa deformação. A Figura 6 mostra a imagem adquirida através de EBSD para a condição citada.

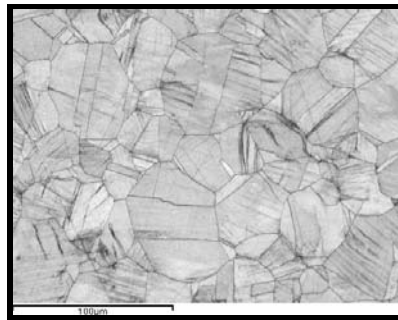


Figura 6: Imagem obtida por EBSD para a amostra na condição laminada a frio 10%.

Note que há pequenas “linhas” no interior de alguns grãos, essas linhas foram caracterizadas como martensita, ratificando assim sua presença mesmo com pouca deformação. Pelos mesmos motivos do item anterior, não se empregou a técnica para o estudo das maiores deformações.

3.4 Análises do Potencial de Pites através de Polarização Potenciodinâmica

3.4.1 Condição tracionada

A Figura 7 contém os gráficos dos ensaios de polarização eletroquímica cíclica para as condições como recebido e para cada grau de deformação por tração.

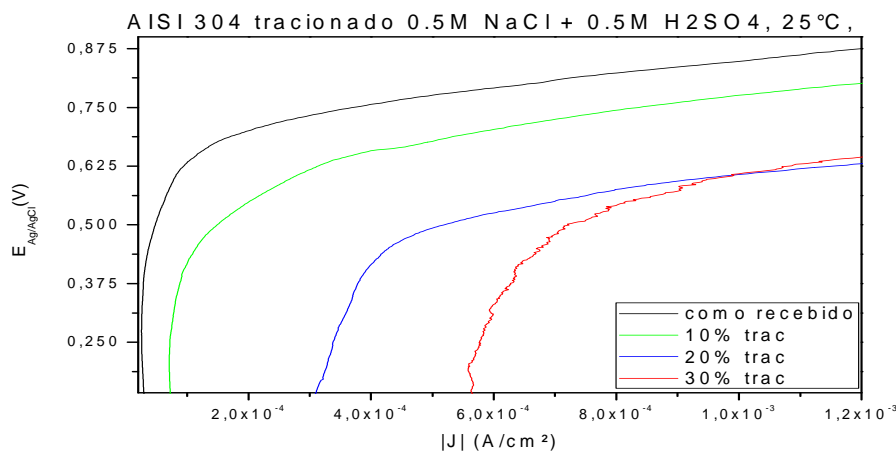


Figura 7: Resultados dos ensaios de polarização potenciodinâmica em solução de 0.5M NaCl + 0.5M H₂SO₄, 25°C, para as condições como recebido e para as demais condições de deformação por tração.

Os resultados mostram que há uma queda da resistência à corrosão por pite à medida que o grau de deformação aumenta. A Figura 8 mostra a média de 3 medidas para o potencial de pite de cada condição de deformação por tração. Pode-se notar um comportamento quase linear na queda do potencial de pite para este tipo de deformação.

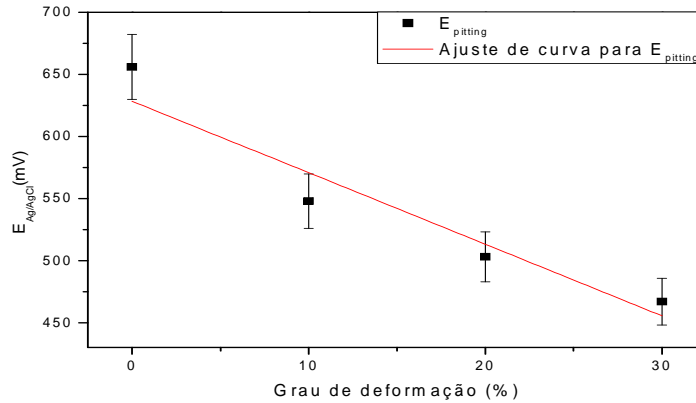


Figura 8: Potenciais de pite para as amostras como recebido e após a deformação por tração.

3.4.2 Condição laminada

A Figura 9 possui os gráficos obtidos como resultado dos ensaios de polarização eletroquímica cíclica para a condição como recebido e para cada grau de deformação por laminação a frio.

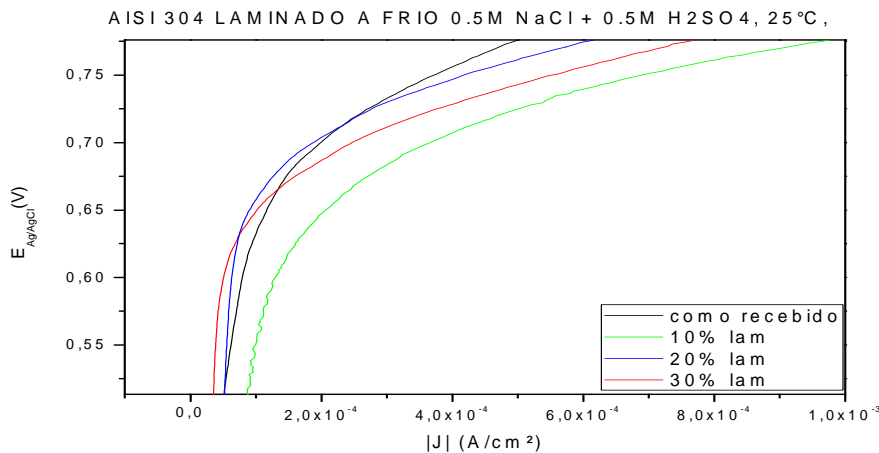


Figura 9: Resultados dos ensaios de polarização potenciodinâmica em solução de 0.5M NaCl + 0.5M H₂SO₄, 25°C, para as condições como recebido e para as demais condições de deformação por laminação a frio.

Nota-se que, ao contrário da condição tracionada, a evolução do grau de deformação gera pouca variação na resistência a corrosão por pites. Na Figura 10 podemos ver a média de 3 medidas para potencial de pite para cada condição de deformação por laminação a frio. Vê-se que há uma queda maior no potencial de pite para a condição laminada a frio 10%, uma sugestão para esse comportamento é que nesse grau de deformação, ainda há grande quantidade de martensita ϵ , fase que desaparece com as deformações de grau maior, além disso nota-se que não há grandes variações entre as duas condições: deformada e não deformada.

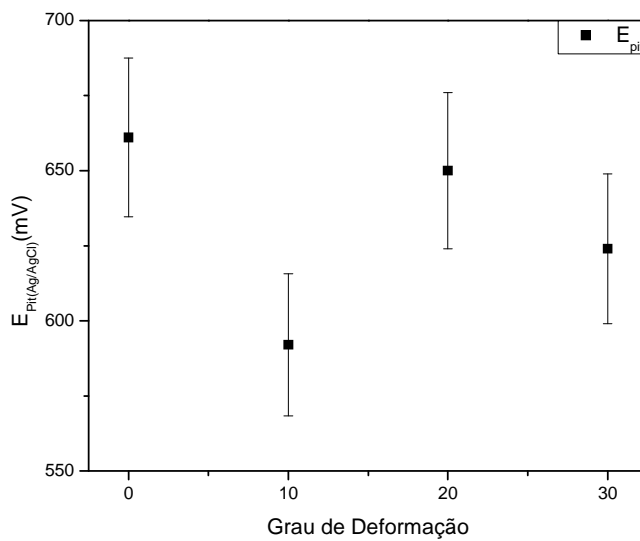


Figura 10: Potenciais de pite para as amostras como recebido e após a deformação por laminação a frio.

Na Figura 11 podemos comparar como variaram os potenciais de pite de acordo com o tipo e grau de deformação.

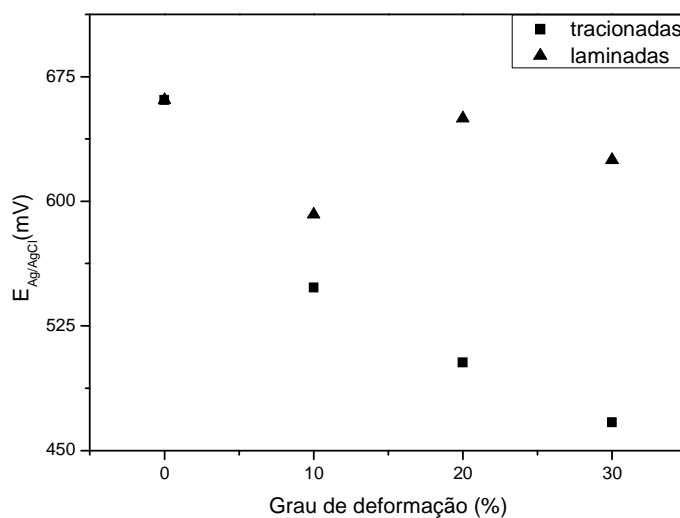


Figura 11: Comparação entre os potenciais de pite para cada tipo e grau de deformação aos quais foram submetidas as amostras de aço inoxidável austenítico AISI 304.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir:

- Não só o grau de deformação, mas o tipo de esforço aplicado influi no comportamento da resistência à corrosão do aço estudado.
- Com o avanço do percentual de deformação, há uma maior perda da resistência à corrosão por pites no aço inoxidável austenítico AISI 304.

- Apesar da transformação da austenita em martensita ser maior na condição laminada a frio, esta não apresentou maiores perdas de resistência a corrosão, apontando que esta transformação de fase não é a maior responsável pela perda de resistência à corrosão.

REFERÊNCIAS

- 1 Telles, P.C.S. Materiais para equipamentos de processos, 6^a edição, dez/2002, p 133 – 144.
- 2 M. Mila, N. Zreiba, F. Elhalouani, C. Baradai. The effect of cold work on structure and properties of AISI 304 stainless steel. *journal of materials processing technology* 203 (2008) p. 80–85.
- 3 Lacombe, P., Baroux, B., Beranger, G. (Eds.), 1993. *Stainless Steels*. Les Editions de Physiques Les Ulis, p. 42.
- 4 P.L. Mongonon, G. Thomas, *Met. Trans.* 1 (1970) 1587.
- 5 Reed, R.P., 1962. The spontaneous martensitic transformation in 18 pct.cr, 8 pct.Ni steels. *Acta Met.* 10, 865.
- 6 L. Peguet, B. Malki, B. Baroux, Influence of cold working on the pitting corrosion resistance of stainless steels. *Corrosion Science* 49 (2007)
- 7 Voort, G.F.V. *Metallography, Principles and Practice*, ASM, 1999.