

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA CORROSÃO EM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO SOLDADO ¹

Luciana Iglésias Lourenço Lima²

Mônica Maria de Abreu Mendonça Schwartzman³

Alexandre Queiroz Bracarense⁴

Marco Antônio Dutra Quinan⁵

Wagner Reis da Costa Campos⁶

Lorena de Azevedo Silva⁷

Resumo

Aços inoxidáveis são empregados nas indústrias química, alimentícia, petrolífera, etc. onde a resistência à corrosão é um fator preponderante. Em diversas destas aplicações é necessário a utilização das operações de soldagem que afetam mecânica, térmica e metalurgicamente o material. A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis está relacionada à presença de um filme óxido protetor formado em sua superfície. A soldagem pode causar variação local na composição do material, alterando a estabilidade deste filme e o comportamento do material frente à corrosão. Apesar da grande utilização do processo *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) em operações de soldagem de aços inoxidáveis não há muitos estudos da influência de seus parâmetros na resistência à corrosão. Uma otimização deste processo que introduza ganhos na qualidade e uma melhora na corrosão torna-se muito importante para sua melhor utilização. Este trabalho teve como objetivo contribuir para o estabelecimento de uma metodologia preliminar de caracterização e determinação da zona termicamente afetada (ZTA), através da variação do tamanho de grão, medido pelo método de Heyn, visando determinar a resistência à corrosão por meio de ensaios eletroquímicos potenciodinâmicos. A metodologia desenvolvida mostrou-se adequada. Entretanto, outros estudos eletroquímicos, deverão ser realizadas para validação do método.

Palavras-chave: Aços inoxidáveis ferríticos; Zona termicamente afetada; Intercepto médio; Polarização potenciodinâmica.

METHODOLOGY FOR CORROSION EVALUATION OF FERRITIC STAINLESS STEEL WELDMENT

Abstract

Stainless steels are used in chemistry, nutritive, oil industry, where corrosion resistance is an important factor. In several of these applications it is necessary the utilization of welding operations that affect the mechanical, thermal and metallurgical properties of the material. The stainless steel corrosion resistance is obtained with the presence of an oxide protect film in its surface. The welding can cause a local composition variation, altering the film stability and the corrosion behavior. In spite of the large utilization of Gas Metal Arc Welding (GMAW) process in stainless steel welding operations there is not much studies about the influence of its parameters on corrosion resistance. The optimization of this process, inserting quality gains and corrosion improvement, becomes important for its better utilization. This work presents a preliminary methodology used to set up heat affected zone (HAZ) characterization and determination, through grain size measured by electrochemical tests. The methodology appeared to be appropriated, however another electrochemical tests have been performed for the method validation.

Key words: Ferritic stainless steel; Gas metal arc welding; Heat affected zone; Heyn method; Potenciodinamic polarization.

¹ Contribuição técnica apresentada no 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Mestranda – Engenharia Mecânica – PPGMEC -UFMG

³ Dra. Pesquisadora – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN

⁴ PhD – Professor Departamento de Engenharia Mecânica – UFMG

⁵ Dr. Pesquisador - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN

⁶ Dr. Pesquisador - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN

⁷ Graduanda em Metalurgia – Centro De Desenvolvimento Da Tecnologia Nuclear/CNEN

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos são ligas binárias de ferro-cromo, estruturalmente simples, com teor de cromo entre 11 e 30%, carbono com teor inferior a 0,12% e sem adição de níquel. São empregados na fabricação de eletrodomésticos, utensílios para cozinha e laboratórios, em aplicações a altas temperaturas, tais como sistema de exaustão e descarga de fumos provenientes da combustão de derivados do petróleo, indústria nuclear, etc. Como exemplo, pode-se citar o uso dos aços inoxidáveis ferríticos nos sistemas de exaustão dos automóveis que têm um papel importante para o aumento de vida útil e menor custo quando comparados aos componentes fabricados com aços inoxidáveis austeníticos. (1).

O uso dos aços inoxidáveis ferríticos requer, em diversas aplicações a união dos componentes por soldagem. Dos processos de soldagem, o GMAW (*Gás Metal Arc Welding*), tem se revelado como aquele de maior ascensão no ambiente industrial, decorrente da sua alta produtividade e qualidade dos cordões de solda. O processo GMAW utiliza um arco entre uma alimentação contínua de metal e a poça de fusão. Esse processo utiliza um gás de proteção que evita a contaminação com o ar, podendo ser utilizado nos modos semi-automático, automático e mecanizado. (2).

Normalmente os aços inoxidáveis ferríticos possuem boa resistência frente à corrosão em suas diversas aplicações, mas alguns problemas podem surgir quando são soldados. Dois dos principais problemas durante a soldagem destes aços são o crescimento de grão da zona termicamente afetada (ZTA) e a baixa ductilidade e tenacidade da zona fundida (ZF), além da sensibilidade a corrosão intergranular. A utilização de um metal de adição austenítico, permite obter uma zona fundida dúctil e tenaz, que não necessita de qualquer tratamento térmico pós-soldagem. O emprego de uma baixa energia de soldagem possibilita a redução, pelo menos em parte, do crescimento de grão e da largura da ZTA. (3).

O método de Heyn consiste em estimar o tamanho de grão médio contando o número de interseções existentes entre o contorno de grão e linhas retas com comprimento bem conhecido previamente traçadas sobre a imagem.

Para uma avaliação eletroquímica da corrosão em juntas soldadas é necessário fazer uma separação das regiões de solda, metal base (MB), ZTA, e ZF, pois as diferenças entre elas no que diz respeito à composição e microestrutura podem criar um potencial eletroquímico entre estas elas e causar corrosão galvânica. (4).

A partir desta análise, torna-se evidente a necessidade do estabelecimento de uma metodologia de caracterização e determinação da ZTA para uma avaliação mais exata do comportamento frente à corrosão em conjuntos soldados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova foram obtidos a partir de chapas de aço inoxidável ferrítico AISI 439 (300x100x1,5 mm) soldados. Para a soldagem utilizou-se como consumível um arame de aço AISI 308L-Si, com diâmetro de 1,2 mm. As composições químicas do metal base e do consumível são apresentadas nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável ferrítico – AISI 439

Composição Química (% peso)									
C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Ti
0,0095	0,1434	0,0234	0,0027	0,4032	0,1777	17,1283	0,0191	0,0115	0,1984

(ACESITA).(5)

Tabela 2. Composição química do consumível AISI 308 L Si

Composição Química (% peso)				
C	Mn	Si	Ni	Cr
0,08	1,70	0,5	10	21

(Sandvik).(6)

Cordões sobre chapa foram depositados utilizando o processo manual de soldagem a arco – GMAW. Como gás de proteção utilizou-se argônio puro, com vazão fixa e controlada de 20 l/min. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados. Os cordões de solda tiveram o comprimento de 150 mm.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem

Amostra	Corrente média (A)	Velocidade média (mm/s)	Tensão média (V)	StickOut(*) médio (mm)	Aporte Térmico (kJ)
1	110	7	19	13,5	298,6
2	133	4	19	26,5	631,7

(*) *StickOut* é definido como a distância entre a extremidade do bico de contato da tocha de soldagem até a extremidade do arame em contato com o arco elétrico. Como é difícil medir operacionalmente esta grandeza, geralmente se toma a distância entre a extremidade do bico de contato e a peça de trabalho. (7).

Após a operação de soldagem, os corpos-de-prova foram cortados em amostras transversalmente ao cordão de solda, que por sua vez foram embutidas em resina baquelite, lixadas e polidas até 1 μm para análise metalográfica. O ataque metalográfico foi realizado com reagente Vilella (100ml álcool etílico, 1g ácido picrico, 10ml de ácido clorídrico) durante 90 segundos, tempo este otimizado em laboratório. (8).

Para determinação da ZTA a ser utilizada nos ensaios eletroquímicos, foi feito um perfil fotográfico, como mostrado na Figura 1 a partir da linha de fusão (LF) em direção ao metal base (MB). A partir deste perfil fotográfico, traçaram-se linhas de referência paralelas a LF. A variação do tamanho de grão ao longo da ZTA foi determinada pelo método de Heyn.

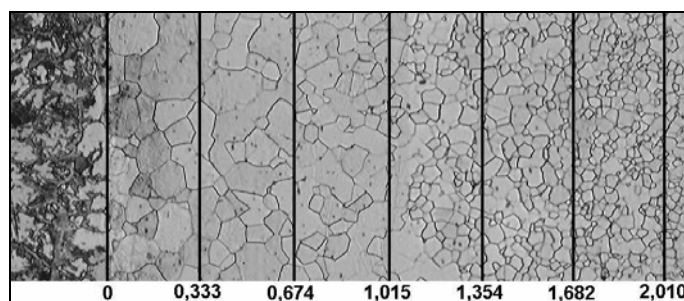


Figura 1. Linhas paralelas à linha de fusão utilizadas para determinação do tamanho de grão ao longo da ZTA (Amostra 1). Os números representam a distância, em mm, de cada linha em relação à LF (Ref. 0).

As curvas de tamanho de grão (TG) versus distância até a LF apresentam um comportamento exponencial e podem ser representadas pela equação:

$$Y = Y_0 + A \cdot e^{R_0 \cdot X}$$

Onde:

Y = tamanho de grão;

Y_0 = tamanho de grão do metal base;

X = distância entre a linha de interceptos e a LF;

A e R_0 – variáveis de ajuste da equação.

A ZTA foi determinada, para fins dos ensaios eletroquímicos, como sendo a região, entre a LF e o MB, cujo tamanho de grão fosse maior ou igual a 1/3 do tamanho de grão médio do MB medido com o software Quantikov[®], o qual utiliza o método Saltkov (9). Esta região foi demarcada através de uma máscara resistente à solução de ensaio, *M Coat A Polyurethane*, e sua área medida também através do software Quantikov[®].

Para os ensaios eletroquímicos as amostras foram lixadas até a granulometria de 600 mesh.

O comportamento das amostras frente à corrosão foi avaliado pela técnica eletroquímica de polarização potenciodinâmica, conduzida em uma célula eletroquímica com montagem de três eletrodos, utilizando-se Ag/AgCl, com concentração de 1mol/l, como eletrodo de referência e um fio de platina (Pt) como eletrodo auxiliar. Os testes foram realizados em solução aquosa de NaCl 3,5%, desaerada por 50 minutos com nitrogênio, à temperatura de $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ e a uma velocidade de varredura de potencial de 1mV/s (10). A faixa de polarização foi de -0,2V a 1,0V em relação ao potencial de corrosão, medido após estabilização de 50 minutos, antes de cada ensaio. Os ensaios eletroquímicos foram realizados por meio de um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 20. Para cada zona de soldagem: metal base, zona termicamente afetada e zona fundida foram feitos três ensaios separadamente para cada uma destas regiões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Metalográfica do Material

As micrografias obtidas através da análise metalográfica estão apresentadas nas Figuras 2 e 3.

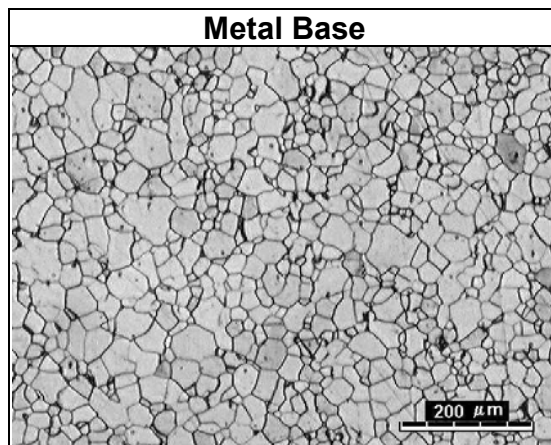


Figura 2. Micrografia da microestrutura do metal base. Aumento 100x.

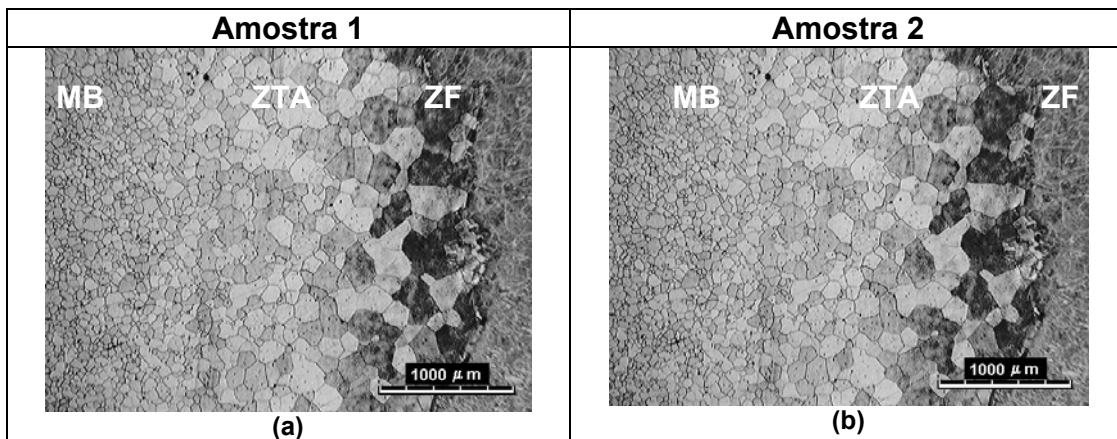


Figura 3. Micrografias das microestruturas das regiões de solda, MB, ZTA e ZF da amostra 1 (a) e amostra 2 (b). Aumento 25x.

A micrografia do MB, apresentada na Figura 2 mostra que o material possui uma microestrutura de grãos equiaxiais de ferrita com alguns carbonetos distribuídos aleatoriamente, com tamanho de grão médio de $23,8 \mu\text{m}$. As micrografias da Figura 3 (a) e 3 (b) representam as regiões de solda: MB, ZTA e metal de adição (MA) da amostra 1 (aporte térmico de $298,6\text{kJ}$) e da amostra 2 (aporte térmico de $631,7\text{kJ}$), respectivamente.

As micrografias da Figura 4 representam as regiões do MA das amostras 1 (a) e 2 (b), respectivamente. Observa-se para a amostra 1 (aporte térmico de 294kJ) uma estrutura formada aparentemente de uma matriz de martensita com ferrita no contorno de grão e precipitados de carbonetos dentro dos grãos. A amostra 2 (aporte térmico de $631,7\text{kJ}$) apresenta uma estrutura martensítica e precipitados de carbonetos distribuídos.

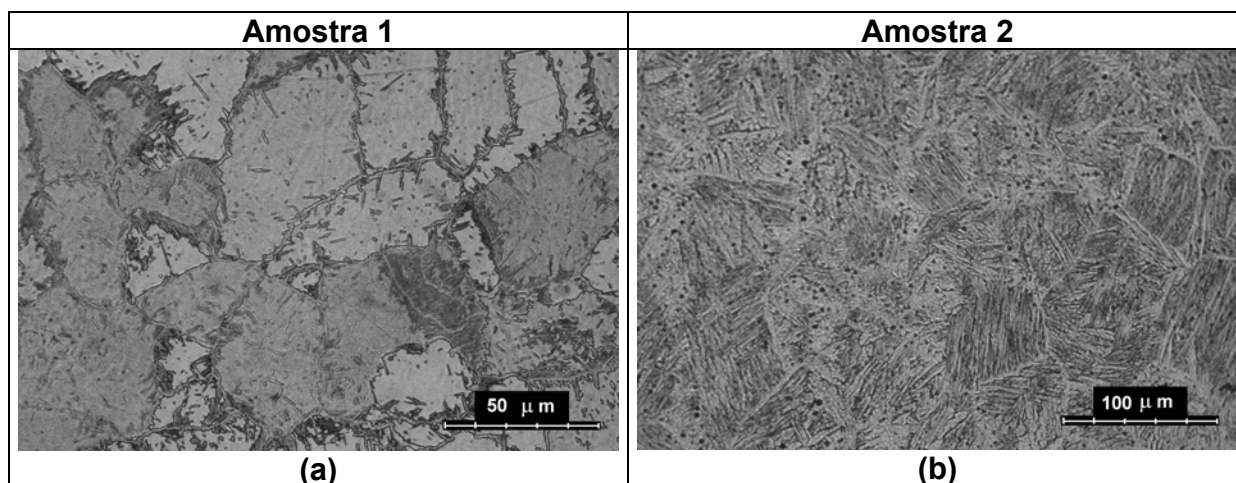


Figura 4. Micrografias das microestruturas do metal de adição da amostra 1 (a), aumento 100x, e da Amostra 2 (b), aumento de 50x.

Determinação da Variação do Tamanho de Grão na ZTA

As Figuras 5 e 6 apresentam as curvas de tamanho de grão versus distância até a linha de fusão, obtidas para as amostras 1 e 2.

Utilizando o critério descrito no item 2, foram determinadas as localizações da ZTA. Para a amostra 1 a ZTA se estendeu da linha de fusão até 1,9 mm em direção ao metal base. Para a amostra 2 este tamanho foi de 4 mm.

Varição de TG em relação a distância da LF - Amostra 1

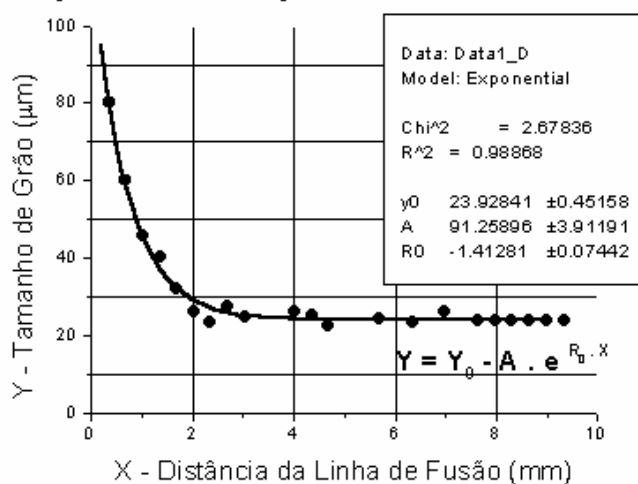


Figura 5. Gráfico da variação do tamanho de grão em relação a linha de fusão – amostra 1.

Variação de TG em relação a distância da LF - Amostra 2

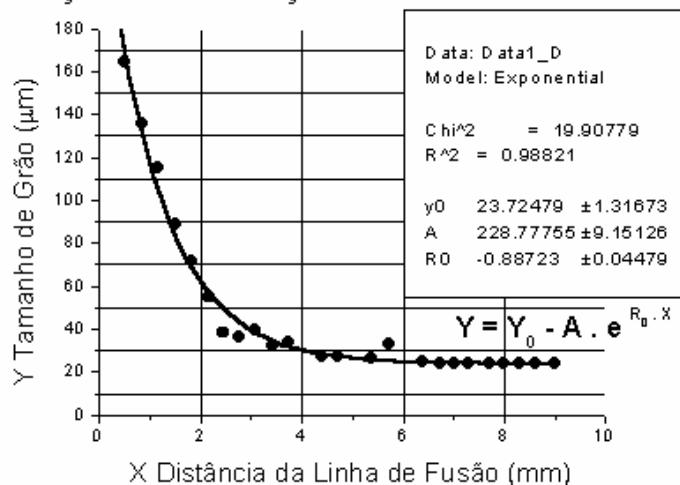


Figura 6. Gráfico da variação do tamanho de grão em relação a linha de fusão – amostra 2.

Ensaio Eletroquímicos

Na Figura 7 estão apresentadas as curvas de polarização potenciodinâmica para as amostras estudadas.

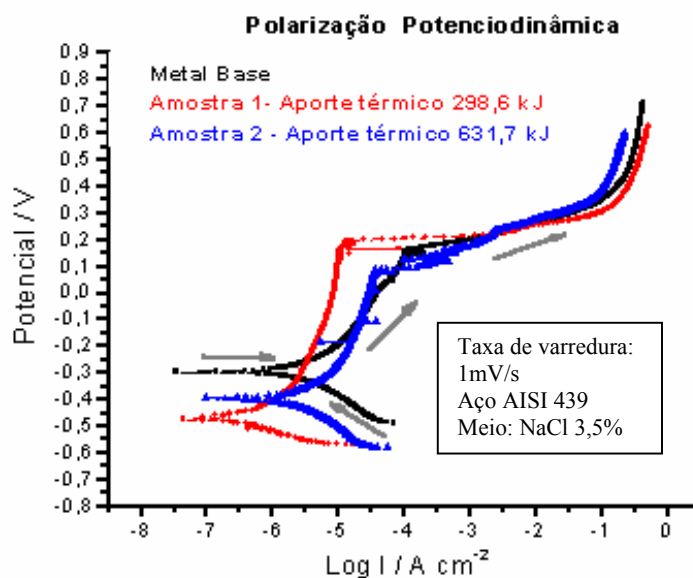


Figura 7. Curvas de polarização potenciodinâmica para as regiões de MB e ZTA das amostras estudadas. As setas indicam o sentido de varredura do potencial.

Observa-se que o potencial de corrosão (E_p) para as três amostras foi diferenciado. O metal base apresentou maior potencial de corrosão ($E_p=0,292V$) seguido da ZTA da amostra 2 ($E_p=0,387V$), de aporte térmico de 631,7kJ e da ZTA da amostra 1

($E_p=0,478V$), de aporte térmico de 298,6kJ. Deve-se observar que um maior aporte térmico durante a soldagem não resulta, necessariamente, num pior comportamento do material frente à corrosão, mas pode pelo fato de se obter uma ZTA maior, gerar faixas de grãos susceptíveis à corrosão, maiores, podendo promover a corrosão.(11). Observa-se ainda que, a amostra 1 (com menor aporte térmico) apresenta uma zona de passivação mais extensa. Este fato deverá ser melhor investigado com o objetivo de correlacionar os fatores metalúrgicos com o comportamento eletroquímico do material. A Figura 8 apresenta as curvas de polarização das regiões, MB, ZTA e MA da amostra 1 (aporte térmico de 298,6 kJ)

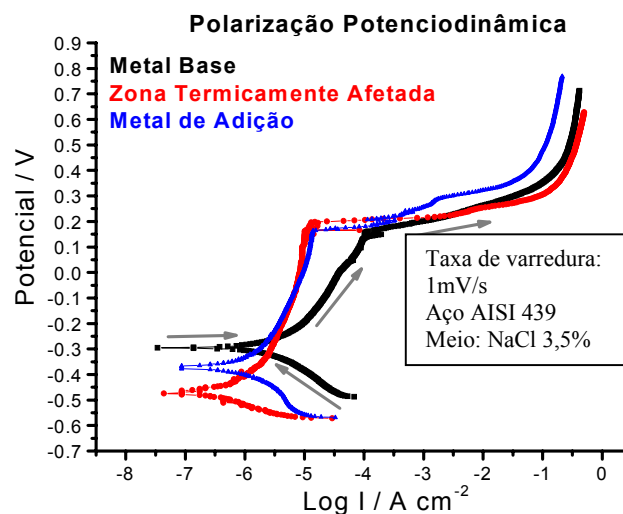


Figura 8. Curvas ensaios eletroquímicos de polarização potenciodinâmica para a amostra 1 (aporte térmico de 298,6kJ). As setas indicam o sentido de varredura do potencial.

Observa-se pela curva que o melhor comportamento frente à corrosão foi do metal base ($E_p = 0,292V$). O metal de adição ($E_p = 0,374V$) obteve um melhor comportamento em relação a região da ZTA ($E_p = 0,476V$). As diferenças entre as curvas obtidas para cada região (MB, ZTA e MA) pode ser explicada pela diferença entre as microestruturas de cada uma destas regiões. (12).

4 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada mostrou-se adequada para avaliar a resistência à corrosão das três regiões de soldagem (MB, ZTA e MA) do aço inoxidável ferrítico AISI 439 soldado com AISI 308L - Si, por meio de métodos eletroquímicos. Entretanto, outros estudos de corrosão eletroquímica, tais como determinação de potencial e/ou temperatura de pite, deverão ser realizados para uma melhor avaliação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes pela bolsa concedida, Acesita pelo material fornecido, à FAPEMIG pelo apoio financeiro e à CNEN/CDTN pelo uso das instalações laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- 1 Alves, H.J.B, Carvalho, J.A.N, Mantel, M.J, Aquino, M.V. Desenvolvimento dos aços inoxidáveis ferríticos para o Sistema de Exaustão Automobilística. In: 57º Congresso Anual da ABM – Internacional, 2002, São Paulo. Anais...São Paulo: cd.1 p 117-119.
- 2 Bracarense, A. Q. Processo de soldagem – Gás Metal Arc Welding GMAW. Apostila curso Processos de Soldagem – Mestrado UFMG, 2005.
- 3 Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis. In: Modenesi, P.J. Metalurgia da Soldagem dos aços Inoxidáveis ferríticos. Senai-SP, 2001. Coleção tecnologia da Soldagem v.1 ,p. 27-30.
- 4 Hemmingsen, T, Hovdan, H, Sanni, P, Aagotne, N.O. The influence of electrolyte potential on weld corrosion. **Electrochimica Acta**, v.47, p.3949-3952, 2002.
- 5 Acesita – em meio eletrônico: e-mail. Acessado em 20 out. 2005.
- 6 Catálogo de produtos – Sandivik.
- 7 Tecnologia da Soldagem. In: Marques, P.V. Soldagem Mig/Mag e com Arame Tubular. ESAB-BH, 2002. Fundação Christiano Ottoni – FCO, p.228.
- 8 ASM – American Society for Metals – Metals Handbook 8ºed – In: Metallographic Technique for Specific Metals and Alloys, v.8,p. , 1973.
- 9 PINTO, L. C. M. Quantikov – Um analisador Microestrutural para um ambiente Windows™. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo/ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP/IPEN. 1996.
- 10 Falleiros, N.A, Oliveira, G.H.L. Determinação do Potencial de Pite de Aço Inoxidável Ferrítico por Métodos Potenciodinâmico e Potenciostático. Produção em Iniciação Científica da Epusp ,2002. <http://www.poli.usp.br>. Acessado em 25 out 2005.
- 11 Shreir, L.L, Jarman, R.A, Burstein, G.T. Corrosion/ Corrosion Control 3ºed – In: Corrosion Testing and Determination of Corrosion Rates, v.2, cap. 19.1, p. 8.
- 12 Wolyneec, S. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão. In: Palestra “keynote” proferida no 59º Congresso Anual da ABM – Internacional, 2004, São Paulo. Anais...São Paulo: cd.1.