

# INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE FLUXO DE ELETRÓLITO NOS MECANISMOS DE CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO<sup>1</sup>

Diana López<sup>2</sup>  
Neusa Alonso Falleiros<sup>3</sup>  
André Paulo Tschiptschin<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho avalia-se o efeito da introdução de fluxo de eletrólito e de partículas sobre a resistência à corrosão de um aço inoxidável austenítico AISI 304L. Amostras solubilizadas de aço inoxidável austenítico AISI 304L foram submetidas a ensaios de corrosão, corrosão com fluxo de eletrólito e corrosão-erosão. Os ensaios de corrosão e corrosão-erosão foram feitos colocando as amostras numa célula eletroquímica modificada e acoplando-as a um potenciostato, a fim de obter curvas de polarização enquanto o fluido interagiu com a superfície das amostras. Os ensaios de corrosão foram feitos em 3,5% NaCl e os de corrosão-erosão em solução 3,5% NaCl contendo partículas de quartzo em suspensão. Observou-se que as curvas de polarização potenciodinâmica sofrem alterações notáveis sob a influência do eletrólito em movimento comparado com a condição estagnada; a densidade de corrente aumentou e o potencial de corrosão e de pite diminuíram com o aumento da agressividade do ensaio. Por outro lado, os resultados obtidos revelam que a técnica de polarização é útil para descrever as interações entre erosão e corrosão nos aços inoxidáveis.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis; Corrosão-erosão; Fluxo de eletrólito.

## INFLUENCE OF THE ELECTROLYTE FLOW CONDITIONS ON THE CORROSION MECHANISMS OF AN AUSTENITIC STAINLESS STEEL

### Abstract

The effect of the electrolyte flow and of the impact of quartz particles on the corrosion resistance of an AISI 304L austenitic stainless steel was assessed. Solubilized specimens were submitted to corrosion testing in stagnant electrolyte, in flowing electrolyte and in flowing electrolyte containing quartz particles under erosion-corrosion conditions, in order to obtain polarization curves for these three different conditions. The corrosion tests were performed in a potentiostat in a 3.5% NaCl solution and in a 3.5% NaCl solution containing quartz particles in suspension. The polarization curves are significantly altered when testing is done in flowing electrolyte, when compared to stagnant electrolyte. The current density increased and the pitting corrosion potential decreased with the increase in the aggressiveness of the test. The polarization testing technique is useful to separate and compare corrosion and corrosion-erosion of stainless steels.

**Key words:** Stainless steels; Corrosion-erosion; Electrolyte flow.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Engenheira Mecânica, Doutora em Engenharia. Professora da Escola de Engenharia de Materiais, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia*

<sup>3</sup> *Engenheira Metalúrgica, Doutora em Engenharia. Professora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Doutor em Engenharia. Professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Sendo a corrosão um fenômeno de superfície, a dinâmica dos fluidos que define as interações do eletrólito com a superfície é fator determinante dos processos de corrosão. A estrutura da camada limite hidrodinâmica muda com o aumento de velocidade e a sua espessura diminui. Essas mudanças da camada limite são muito importantes, pois o movimento das espécies que sofrem corrosão e que são responsáveis pelas reações químicas e eletroquímicas, incluindo a formação da camada passiva no caso dos aços inoxidáveis, acontecem nesta região.

Normalmente os estudos sobre corrosão são feitos usando soluções em repouso, e como resultado, os fatores hidrodinâmicos são ignorados na análise da cinética da corrosão. A velocidade do fluido modifica significativamente a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis, não só devido a esforços induzidos na superfície por partículas abrasivas, como também devido à alteração na taxa de transferência de massa, do aço para o eletrólito e vice-versa. Isto decorre de perturbações nos regimes de convecção e difusão, provocadas pelo fluido em movimento e pela movimentação de partículas em suspensão. Adicionalmente a camada passiva formada in-situ, em condições de incidência de jato e de impacto de partículas, pode ser diferente daquela formada sob condições de repouso.

A influência do fluxo na resistência à corrosão do material pode ser benéfico ou deletério. Os efeitos benéficos incluem a homogeneização do eletrólito, prevenção de adesão de sólidos à superfície do metal e a promoção de passivação em materiais com essa característica devido ao aumento na disponibilidade de oxigênio. Os efeitos deletérios incluem a deterioração da camada passiva na superfície e em alguns casos até a deterioração do substrato.<sup>[1]</sup> Assim, o efeito do aumento da velocidade do fluxo vai depender do mecanismo de corrosão envolvido no processo de deterioração do metal. O efeito do fluxo na corrosão dos aços inoxidáveis varia dependendo da velocidade de incidência do jato. Em condições de estagnação e baixas velocidades, a convecção natural é a responsável pela transferência de massa; com fluxo moderado, a transferência de massa aumenta, mas ainda não há efeitos mecânicos importantes sobre a camada. Já para fluxo com altas velocidades, o regime é de convecção forçada e os efeitos mecânicos sobre as camadas protetoras, devidos ao fluxo, se manifestam; em alguns casos extremos, o substrato, pode sofrer dano mecânico.

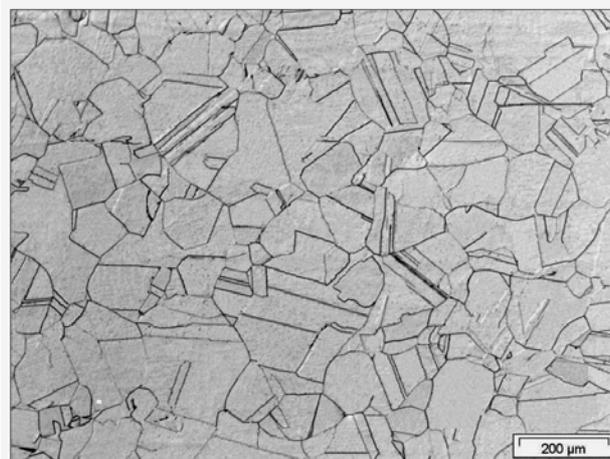
Algumas publicações reportam que a velocidade aumenta a resistência à corrosão de materiais que passivam, devido a uma melhor transferência de oxigênio através do eletrólito e como consequência, a uma maior disponibilidade de oxigênio para formar a camada passiva. No entanto, esses resultados devem ser explicitamente correlacionados com a geometria do campo de fluxo, que é um parâmetro importante para definir os esforços cortantes na superfície.<sup>[1]</sup> É importante notar que a dissolução e/ou a remoção mecânica da camada passiva pode ser aumentada pela turbulência do fluido.<sup>[2]</sup> A configuração de impacto direto do jato na superfície do material impõe esforços na superfície do metal e na camada passiva, que não estão presentes numa configuração de ensaio com simples agitação. Sob condições de impacto, os esforços cortantes na superfície podem ser suficientes para evitar a formação inicial da camada passiva ou modificar suas características estruturais, criando uma camada diferente daquela formada em condições estáticas ou danificando-a, uma vez formada.

Neste trabalho estuda-se o efeito da velocidade e da introdução de partículas na resistência à corrosão e corrosão-erosão de um aço AISI 304L usando ensaios de polarização potenciodinâmica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Este trabalho foi desenvolvido com amostras de aço inoxidável austenítico AISI 304L obtidas a partir de chapas laminadas. As amostras foram inicialmente solubilizadas a 1.200°C durante uma hora sob atmosfera de argônio com pressão de 1,5 atm e em seguida foram resfriadas em água. A Figura 1 mostra a microestrutura do aço AISI 304L, composta por grãos de austenita e maclas de recozimento. A dureza nesta condição foi de  $178 \text{ HV} \pm 10$  com carga de 0,1 kgf.



**Figura 1** – Grãos de austenita na microestrutura do material AISI 304L solubilizado (MO, 50 X, Ataque: Oxálico eletrolítico)

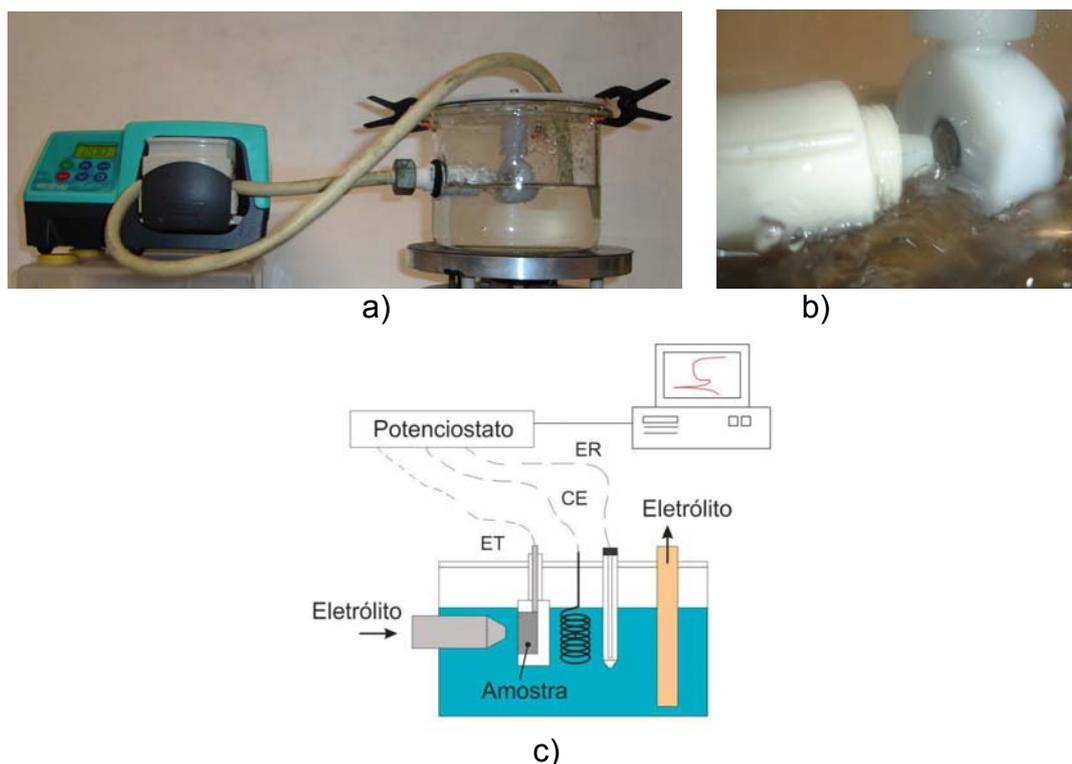
### 2.2 Ensaios de Polarização

Os ensaios de polarização foram feitos usando potenciostato *EG&G Princeton Applied Research* (PAR) modelo 273, com eletrodo de referência de Ag/AgCl e contra-eletrodo de platina. A temperatura de ensaio se manteve entre 294 K e 299 K, e a taxa de variação de potencial foi de 1 mV/s. Todos os corpos-de-prova foram lixados em papéis abrasivos até o No. ASTM 600, levados à cuba de ultra-som e secados em ar quente imediatamente antes do ensaio. A área exposta das amostras variou entre  $0,9 \text{ cm}^2$  e  $1,2 \text{ cm}^2$ . O potencial foi variado desde 0,1 V abaixo do potencial de corrosão na direção positiva até que fosse atingido um valor limite de densidade de corrente, sendo  $10^{-2} \text{ A/cm}^2$  para o aço austenítico. Vários parâmetros das curvas de polarização potenciodinâmica foram determinados: o potencial de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ), a densidade de corrente passiva ( $i_{\text{pass}}$ ), e o potencial de pite ( $E_p$ ). Durante os ensaios de polarização, o valor do potencial, a partir do qual se observou um crescimento contínuo e abrupto na densidade de corrente anódica, foi denominado potencial de pite. O pH e a temperatura da solução foram monitorados durante todos os ensaios usando um pH-metro marca *Digimed DM22* e um termômetro de mercúrio colocado em contato com a solução.

Antes de levantar as curvas de polarização, as amostras foram lixadas novamente em lixa 600 e foram mantidas nas condições particulares de ensaio

durante 5 minutos, sem aplicação de potencial, dando tempo para o eletrólito molhar a superfície e estabelecer a dupla camada elétrica. Sempre, após os ensaios, era feita a verificação de possível ocorrência de corrosão em fresta, entre o corpo-de-prova e a baquelite.

Foram realizados três tipos de ensaios nas amostras: corrosão estática, corrosão com fluxo e erosão-corrosão. Os ensaios de corrosão estática foram realizados numa célula eletroquímica convencional. Para a realização dos ensaios de corrosão com fluxo e erosão-corrosão foi construído uma célula eletroquímica modificada para permitir a realização de ensaios de corrosão sob condições de fluxo do eletrólito. Este equipamento se mostra na Figura 2.



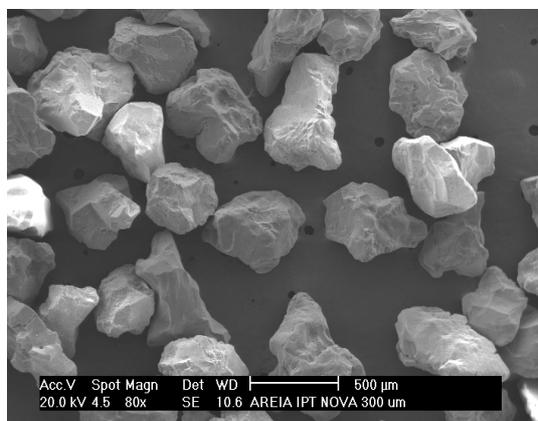
**Figura 2** - a) Equipamento usado nos ensaios de corrosão e erosão-corrosão. b) detalhe do bico e porta-amostras. c) Esquema do equipamento.

O fluxo é conseguido por bombeamento do eletrólito em uma bomba peristáltica, marca *Watson Marlow*, que permite bombear o fluido, sem que o mesmo tenha contato com partes metálicas do mecanismo impulsor da bomba, evitando assim a contaminação do eletrólito. Por tanto, a única parte metálica do sistema é a amostra. Nos ensaios de corrosão com fluxo, a amostra é submetida ao impacto de um jato de 3,5%NaCl, enquanto nos ensaios de erosão-corrosão, a amostra é impactada por uma lama composta por 3,5% NaCl e 10% de partículas de quartzo.

A tabela 1 mostra as propriedades físicas da solução 3,5%NaCl a 20°C.<sup>[3]</sup> As partículas de quartzo usadas como abrasivo nos ensaios de erosão-corrosão têm tamanho médio entre 420  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$  e a morfologia é mostrada na Figura 3. As partículas foram projetadas sobre a superfície das amostras com um ângulo de impacto de 90° e velocidade média de 4  $\text{ms}^{-1}$ . A velocidade foi calculada a partir de medições de vazão, tempo e a área de saída do jato. Esse valor de velocidade corresponde ao máximo permitido pela bomba peristáltica. Todas as superfícies testadas foram previamente lixadas até lixa 600 antes dos ensaios.

**Tabela 1** - Propriedades físicas do eletrólito usado

Densidade	1,025 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica	1,06x10 <sup>-3</sup> kg/ms
Viscosidade cinemática	1,03x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s



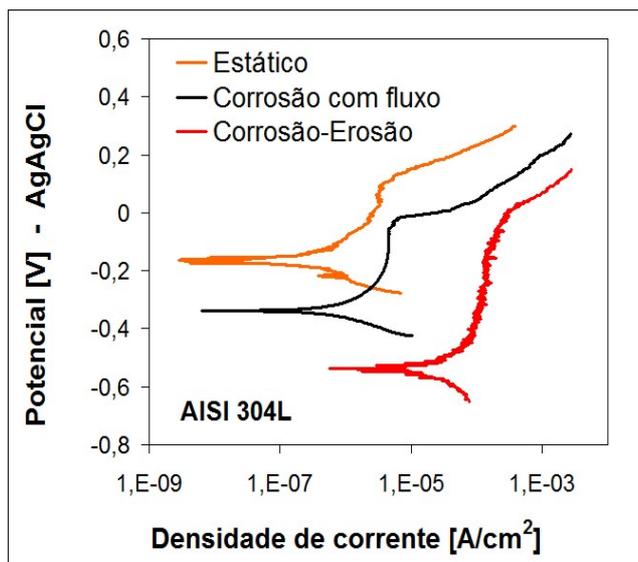
**Figura 3** –Imagem MEV das partículas de quartzo usadas como abrasivo.

### 2.3 Análise das Superfícies

O estado das superfícies submetidas a ensaios de corrosão ou erosão-corrosão foi avaliado usando microscopia óptica *OLYMPUS PME* e microscopia eletrônica de varredura em equipamento *Philips XL30TMP*, do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP. Foram avaliadas características superficiais como pites, marcas de erosão, evidências de corrosão uniforme, etc.

### 3 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmicas obtidas sob três condições de ensaio diferentes: corrosão estática, corrosão com fluxo e corrosão-erosão. Observa-se que as curvas de polarização potenciodinâmica se deslocam para densidades de corrente maiores com a introdução de fluxo e de partículas. Nota-se que o potencial de corrosão e de pite são deslocados para valores menos nobres, indicando um aumento na taxa de reação química na superfície e uma diminuição das propriedades protetoras da camada passiva. A curva para erosão-corrosão mostra um estado passivo, ainda que a densidade de corrente passiva seja cerca de 100 vezes maior do que o valor usual observado no estado estático. A Tabela 2 reporta os valores de parâmetros eletroquímicos obtidos das curvas de polarização.



**Figura 4** – Curvas de polarização para o aço AISI 304L em 3,5%NaCl, sob diferentes condições de ensaio de corrosão: estática, corrosão com fluxo e erosão-corrosão com partículas de quartzo.

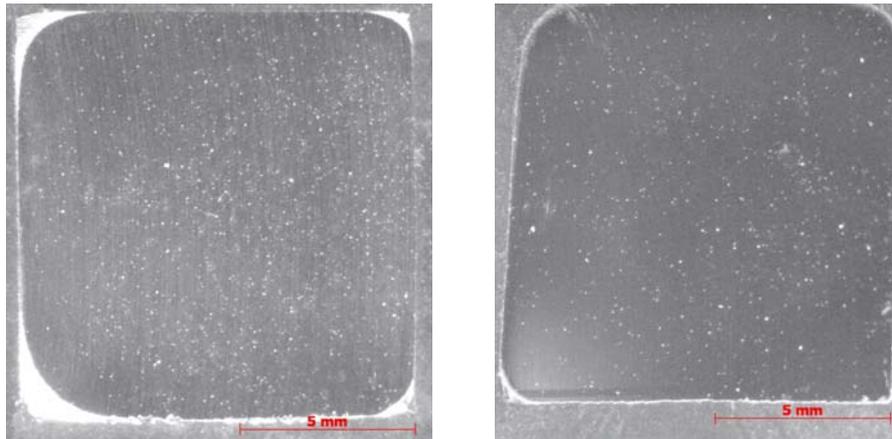
**Tabela 2** - Parâmetros eletroquímicos obtidos para o aço austenítico sob diferentes condições de fluxo

Condição	E <sub>corr</sub> [V]	i <sub>pass</sub> [A/cm <sup>2</sup> ]	E <sub>pite</sub> [V]
Estática	-0,166 ± 0,013	2,46E-06 ± 3,3E-7	0,043 ± 0,010
Corrosão com fluxo	-0,308 ± 0,042	3,77E-06 ± 9,9E-7	-0,030 ± 0,024
Erosão-corrosão	-0,508 ± 0,025	2,43E-04 ± 2,0E-4	-0,019 ± 0,019

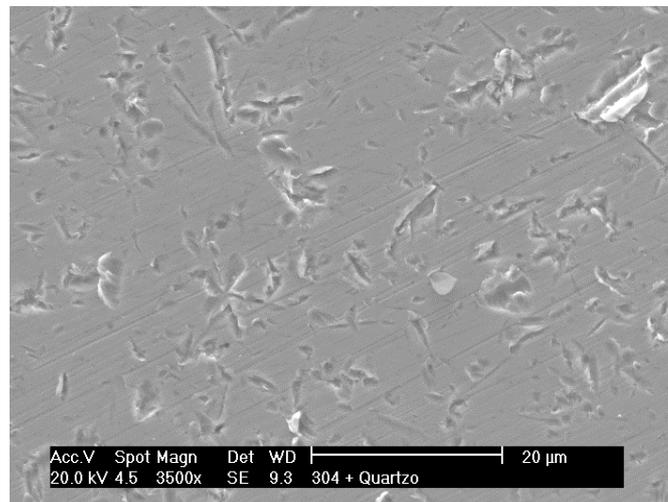
Os valores da densidade de corrente passiva mostram que este aço sofre um efeito negativo importante com a introdução de partículas, pois  $i_{pass}$  aumenta duas ordens de grandeza. A introdução do jato também afeta a corrente passiva, mas não tão marcadamente quanto a erosão com partículas. Esta resposta possivelmente está associada com a maior resistência à corrosão desde aço e às moderadas propriedades mecânicas, quando comparado com outros aços inoxidáveis.

A observação da superfície após ensaios de corrosão e corrosão com fluxo mostraram fundamentalmente corrosão por pite. A Figura 5 mostra duas das superfícies testadas nestas condições. Ainda que o potencial de pite diminuiu com o efeito do jato, o número de pites na superfície parece diminuir. No entanto, esse é um estudo estatístico que precisa ser feito cuidadosamente.

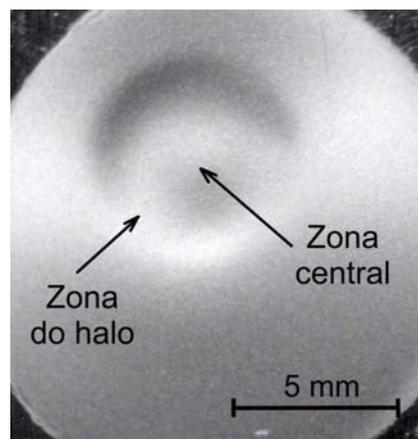
A Figura 6 mostra uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura, da superfície de uma amostra de aço inoxidável austenítico solubilizado, preparada com lixa 600 e testada em erosão, após os 5 primeiros segundos de ensaio. Observaram-se marcas de indentação características de impacto normal e alguns riscos característicos do mecanismo de microcorte, que sobressaem sobre os riscos de lixa. Já a Figura 7 mostra o aspecto macroscópico da superfície depois de oito horas. Configura-se uma zona central de impacto direto do jato e uma zona lateral, denominada de halo, na qual o impacto das partículas se dá com ângulo rasante devido à abertura do jato quando encontra a superfície da amostra.



**Figura 5** – Pites na superfície de amostras testadas em a) corrosão b) corrosão com fluxo



**Figura 6** – Imagem da superfície do aço inoxidável austenítico, erodida com partículas de quartzo, após os cinco primeiros segundos de ensaio (MEV, 3500X, sem ataque).



**Figura 7** – Imagem macro da superfície erodida de uma amostra de aço austenítico AISI 304L depois de oito horas de ensaio. (Lupa, sem ataque)

#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram claramente os efeitos da erosão e do fluxo de eletrólito sobre a corrosão no aço austenítico. As curvas de polarização obtidas neste trabalho mostram uma resposta semelhante da superfície com a introdução do fluxo de 3,5% de NaCl e com a adição de partículas ao fluxo. Esta resposta pode ser

sintetizada observando que ao aumentar a agressividade do ensaio, o potencial de corrosão e de pite diminuem e a densidade de corrente aumenta, deslocando as curvas para potenciais menos nobres e densidades de corrente maiores, mostrando assim que os efeitos mecânicos ativam a superfície da liga. No entanto, a camada passiva dos aços inoxidáveis estudados parece ser suficientemente aderente e ter rápida formação, pois a passivação continua mesmo na presença de fluxo e de sólidos em suspensão.

O deslocamento das curvas para densidades de corrente maiores, quando são introduzidas partículas duras no fluxo, foi descrito para aços inoxidáveis por autores como Madsen e Guenbour. Estes autores argumentam que o deslocamento para densidades de corrente maiores é uma evidência de que a camada passiva que se forma na superfície do aço está sendo continuamente removida pela ação do fluxo e pela presença de sólidos e confirma que a corrosão é aumentada por erosão.<sup>[4,5]</sup> No entanto, a remoção da camada passiva constitui somente um dos fenômenos que podem ocorrer na superfície de um metal quando submetido à ação de um impacto de fluido e partículas. Outros fenômenos que podem afetar a resposta da superfície são discutidos em seguida.

#### **4.1 Efeito da Velocidade do Eletrólito**

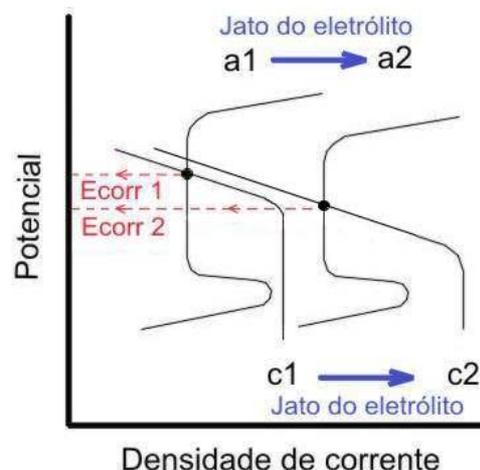
O impacto normal de um fluido a velocidades de 4 m/s pode conduzir a um transporte de oxigênio mais eficiente que contribui para a formação da camada passiva, mas também pode ter efeitos deletérios, como aumentar a reação catódica em locais ativos aumentando a taxa da reação global, facilitar o transporte de íons metálicos longe da superfície e gerar esforços nela. Tais esforços removem facilmente a camada passiva em áreas defeituosas, expondo o material base ao eletrólito e aumentando o processo de oxidação.

O cálculo do número de Reynolds para o ensaio usado neste trabalho mostrou que o fluxo que se desenvolve entre o eletrólito e a superfície do metal é turbulento. Quando o fluxo é turbulento perturbado, como no caso do impacto do jato com a superfície da amostra, os gradientes de velocidade são muito grandes e isso leva a grandes esforços de cisalhamento superficiais; esses gradientes dependem de fatores como a velocidade, geometria, temperatura e rugosidade superficial. A perturbação do fluxo destrói o equilíbrio da camada limite hidrodinâmica e de difusão. O efeito dessa perturbação é a criação de uma condição de corrosão em que o equilíbrio das reações de corrosão não se mantém. Ao aumentar a velocidade, aumenta a transferência de quantidade de movimento em comparação com a condição estagnada. Assim as estruturas turbulentas na região perto da parede têm suficiente energia cinética para afetar os íons e a estrutura da dupla camada elétrica.

De outro modo, nas reações de corrosão, os íons agressivos devem chegar até a superfície do metal e os produtos de corrosão levados para longe da superfície. Íons e moléculas podem alcançar a superfície metálica por difusão molecular, como resultado de um gradiente de concentração. Em solução estagnada, os átomos da superfície metálica entram na solução como íons, por um processo eletroquímico; particularmente nos aços inoxidáveis, muitos íons de cromo permanecem na superfície sólida e formam a camada passiva. Esse processo de formação da camada passiva requer a presença de oxigênio. Com o jato criando um fluxo perturbado sobre a superfície da amostra a quantidade de matéria que alcança a superfície é aumentada pela ação do fluxo, o transporte de oxigênio até a superfície melhora, mas os íons de Cr, necessários para a formação da camada

passiva, vão embora facilmente devido ao aumento de transferência de massa através da camada de difusão e viscosa, que é mais fina, portanto a formação da camada passiva se torna mais difícil. Mesmo formada, como indica a zona vertical das curvas de polarização, esta camada passiva é mais fina, e provavelmente descontínua e menos resistente do que a formada em condições de estagnação. Por outro lado, a presença de fluxo, além de promover o transporte dos íons Cr para longe da superfície, aumenta a intensidade da reação catódica, promovendo o aumento da taxa de corrosão.

O fluxo turbulento aumenta as reações catódica e anódica, deslocando as curvas para densidades de corrente maiores. A Figura 8 mostra que o potencial de corrosão na condição estática ( $E_{\text{corr } 1}$ ) é determinado pela interseção da curva anódica (a1), que representa a soma da dissolução dos elementos de liga do aço, e da curva catódica (c1). O impacto do jato de eletrólito desloca a curva de polarização anódica da superfície metálica para densidades de corrente maiores (de a1 para a2) e desloca também a curva catódica do oxigênio (c1 para c2). O deslocamento das curvas tem como consequência a redução no potencial de corrosão de  $E_{\text{corr } 1}$  para  $E_{\text{corr } 2}$ , observado nas curvas de polarização obtidas experimentalmente.



**Figura 8** – Esquema do possível efeito do impacto do jato de eletrólito na posição das curvas de polarização anódica e catódica

## 4.2 Efeito da Introdução de Partículas

A introdução de partículas teve um forte efeito nas curvas de polarização. A taxa de corrosão aumentou significativamente em decorrência da ação mecânica das partículas. Também neste caso, o jato estabelece uma condição de fluxo turbulento perturbado. Nesta configuração e com a velocidade de 4 m/s, as partículas têm energia suficiente para atravessar a camada limite, danificar a camada passiva e deformar a região externa do metal, como mostraram as seções transversais do aço inoxidável austenítico.

Alguns dos micro-mecanismos que podem favorecer o aumento da corrosão com a introdução de partículas são: (1) Deformação e remoção da camada passiva em algumas áreas criando células de corrosão. (2) Aumento da turbulência localizada quando as partículas atravessam a camada limite, perturbando o regime de transferência de massa das espécies envolvidas nas reações de corrosão. Entre estas espécies encontram-se, novamente, os íons de cromo, que são afastados mais facilmente da superfície. Com esse empobrecimento de íon de cromo, a formação de uma camada passiva com boas propriedades se torna muito mais

difícil. (3) Aumento da rugosidade superficial, com a formação de crateras e lábios de alta superfície específica, que sofrem corrosão mais facilmente, e sob novos impactos podem ser mais facilmente arrancadas da superfície do material. (4) Flutuações na pressão do fluido que se traduzem em esforços cisalhantes na superfície, devido à presença de turbulência.

As curvas de polarização obtidas sob erosão-corrosão sugerem que as partículas têm energia suficiente para danificar o filme passivo. Elas deformariam a camada passiva e removeriam os produtos de corrosão. A exposição de grandes áreas da superfície metálica à lama aumenta a corrosão, ao mesmo tempo em que uma nova camada passiva se forma na superfície. Assim, cria-se um regime dinâmico na superfície. As curvas obtidas para o aço austenítico sob o efeito da erosão-corrosão, evidenciam um estado passivo em solução 3,5% NaCl, ainda que a densidade de corrente passiva seja cerca de 100 vezes maior do que o valor de referência ( $10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>). O fato das curvas se manterem muito verticais permite inferir que a camada passiva não é completamente removida na área exposta ao impacto e que a sua recuperação é muito rápida. Vários fenômenos podem ocorrer, paralelamente, na superfície durante o ensaio: Em algumas regiões a camada pode ter sido completamente removida pelo impacto das partículas, em outras, no entanto, é possível que a partícula não tenha atravessado a camada passiva inteira, afetando só sua parte externa e afinando-a. Em outras partes a camada pode ter sido arrancada e posteriormente ter sido reformada por processo de repassivação. Assim, resulta em média uma curva de polarização, que é semelhante a uma com zona passiva convencional, mas com uma alta densidade de corrente passiva. A densidade de corrente é claramente maior do que a de passivação de referência ( $10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>), mas está longe de ser uma corrente de dissolução ativa. Conseqüentemente, pode-se concluir que a camada passiva tem algum efeito inibidor no dano de erosão-corrosão enquanto for estável na lama.

Alguns autores discutem o efeito de fatores que poderiam ajudar no processo de reformação da camada passiva na presença de desgaste. Matsumara et al.<sup>[6]</sup> reportam que os íons cloreto inibem o desgaste erosivo em aços inoxidáveis testados em solução ácida, contendo cloreto. O mecanismo proposto é de que a solução com cloreto diminui o coeficiente de atrito entre as partículas e a superfície do aço AISI 304. No entanto, eles reportam que não acontece a mesma coisa com o ferro puro, concluindo que o cromo é necessário para que os íons cloreto apresentem esse comportamento benéfico de inibição do dano por erosão-corrosão. Desta forma, a adsorção de íons cloreto é decisivamente dependente das características químicas da superfície.

### **43 Influência do Fluxo na Corrosão por Pite**

Para os aços inoxidáveis, a velocidade do fluido é um parâmetro importante, quando se estuda o comportamento em ambientes com cloreto. A literatura reporta que o pite está associado a condições de estagnação e que a resistência à corrosão por pite melhora com o aumento da velocidade, dado que o fluxo pode remover os sais do fundo do pite, permitindo a repassivação.<sup>[7,8]</sup> Assim, vários autores estabelecem  $1,5 \text{ ms}^{-1}$  como um valor de velocidade limite, acima do qual se evitaria a formação de pites.<sup>[3,8,9]</sup>

Outra observação relacionada com a corrosão por pite tem a ver com a mudança do potencial de pite, com o aumento da velocidade e a introdução de partículas. Alguns autores<sup>[7]</sup> apresentam resultados em que o potencial de pite em

condições estáticas é menor do que sob fluxo. No entanto, vale a pena mencionar que estes resultados foram obtidos com amostras de área menor do que 1 cm<sup>2</sup>. Para amostras de 1 cm<sup>2</sup> não há diferença entre os potenciais achados por estes pesquisadores, em condições estáticas ou de fluxo. Esse resultado pode ser entendido dado que, quando a área é pequena, a probabilidade do fenômeno acontecer se reduz, pois é um fenômeno que depende prioritariamente dos defeitos superficiais na camada passiva. O uso de áreas ligeiramente maiores do que 1 cm<sup>2</sup>, neste trabalho, tem influência nesta probabilidade. De outro lado, na configuração de ensaio usada, a camada passiva está sendo afetada com a introdução do fluxo, e assim, o potencial para o qual um pite nucleia e cresce estavelmente se reduz.

Observa-se que o potencial de pite se mantém baixo, com a introdução de partículas, em comparação com a condição de fluxo, mas não diminui, e pelo contrário mostra uma ligeira tendência a aumentar. É possível que os pites formados durante os ensaios de erosão-corrosão sejam simultaneamente destruídos pela erosão das partículas de quartzo como proposto por López, Alonso-Falleiros e Tschiptschin.<sup>[10]</sup> O impacto das partículas pode remover a camada passiva que fica acima dos pites e remover as próprias bordas deles, abrindo-os, permitindo a renovação de oxigênio dentro deles e homogeneizando a concentração de cátions dentro do pite. Estes efeitos podem evitar o progresso do crescimento do pite.

## 5 CONCLUSÕES

1. As curvas de polarização potenciodinâmicas sofrem influência dos efeitos do fluxo e da erosão sob a corrosão dos aços. No presente caso, isso se traduz no deslocamento das curvas para densidades de corrente maiores e valores menores de potencial, mostrando um processo de corrosão acelerado por erosão. Assim, o método de polarização potenciodinâmica oferece um recurso importante no estudo da interação entre os efeitos mecânicos da erosão e eletroquímicos da corrosão.
2. A densidade de corrente passiva do aço inoxidável austenítico AISI 304L aumenta com a introdução de fluxo quando comparada com a corrente passiva observada em ensaios com solução em repouso. De outro modo, o potencial de pite diminui quando comparado com o potencial de pite obtido em ensaios com a solução em repouso ao igual do que o potencial de corrosão.
4. A curva obtida para a superfície testada em erosão-corrosão mostrou a mesma tendência da curva da superfície testada em corrosão com fluxo: aumento na densidade de corrente passiva quando comparada com a densidade de corrente passiva observada em ensaios com solução em repouso, o potencial de pite diminuiu quando comparado com o potencial de pite observado em ensaios com solução em repouso e o potencial de corrosão diminui quando comparado com o potencial de corrosão observado em ensaios com solução em repouso.

## Agradecimentos

Ao CNPQ pelo projeto de pesquisa 4759562003-6 e bolsa de doutorado, processo 141490/2004-7

## REFERÊNCIAS

- 1 Weber, J. Flow induced corrosion. Br. Corros. J. v 27, n 3, 1992, p 193-199
- 2 Poulson, B. Advances in understanding hydrodynamic effects on corrosion Corr. Sci. Vol. 35, 1-4, 1993
- 3 Wharton, Jaw A. Wood, R.J.K. Flow corrosion behavior of austenitic stainless steels UNS S30403 and UNS S31603. Corr, v 61, n 8, August, 2005, p 792-806
- 4 Madsen, B.W. Measurement of erosion-corrosion synergism with a slurry wear test apparatus Wear, Volume 123, Issue 2, 15 April 1988, Pages 127-142
- 5 Guenbour, A., Faucheu, J., Ben Bachir, A., Dabosi, F., Bui, N. Electrochemical study of corrosion-abrasion of stainless steels in phosphoric acids. Br. Corros. J. 1988, Vol 23, 4, 234-238
- 6 Matsumura, M., Oka, Y., Hiura, H., Yano, M. Role of passivating film in preventing slurry erosion-corrosion of austenitic stainless steel. ISIJ International, v 31, n 2, 1991, p 168-176
- 7 Sasaki, K., Burstein, G.T. Erosion–corrosion of stainless steel under impingement by a fluid jet. Corrosion Science, 49, Issue 1, January 2007, Pages 92-102
- 8 Sedriks, A. J. Corrosion of Stainless steels. Wiley Inter-science, New York, 1996
- 9 Fontana, M.G.; Greene, N.D. Corrosion Engineering, McGraw Hill Higher Education, 1986
- 10 López, D., Alonso-Falleiros, N., Tschiptschin, A. P. Corrosion–erosion behaviour of austenitic and martensitic high nitrogen stainless steels. Wear 263 (2007) 347–354