

## ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS ISO 5832-1 E ISO 5832-9

### Vinícius Luis Gama

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba, 80230-901, Curitiba, PR, Brasil  
[vinicius.gama3@uol.com.br](mailto:vinicius.gama3@uol.com.br)

### Ricardo Fernando dos Reis (co-orientador)

[ricardo@utfpr.edu.br](mailto:ricardo@utfpr.edu.br)

### Paulo Cesar Borges (orientador)

[pborges@utfpr.edu.br](mailto:pborges@utfpr.edu.br)

**Resumo:** Dada a importante aplicação dos aços inoxidáveis austeníticos ISO 5832-1 e ISO 5832-9 na fabricação de implantes Biomédicos, foi realizado nesse trabalho uma análise e comparação das propriedades de corrosão dos aços supracitados. Tendo em vista que o aço ISO 5832-9 vem substituindo o 5832-1 e sabendo-se que apresenta maior teor de nitrogênio, era esperado um melhor comportamento de corrosão para esse aço. Para tanto, foram realizados ensaios de corrosão do tipo Polarização Cíclica, com eletrodos de grafita e calomelano saturado, para amostras de 15,8 mm de diâmetro, embutidas em resina epóxi e lixadas até 600 MESH. A partir das curvas potencial versus densidade de corrente, foi possível analisar o comportamento de corrosão de ambos os materiais. No entanto, não foi possível, com os resultados iniciais desse estudo, concluir que existe uma melhora da resistência à corrosão para o aço com maior percentual de nitrogênio, indicando a necessidade de aprofundar os estudos a esse respeito.

**Palavras-chave:** Corrosão, Aço ISO 5832-1, Aço ISO 5832-9, Aços Inoxidáveis Austeníticos, Biomateriais.

## 1. INTRODUÇÃO

Definem-se biomateriais como aqueles utilizados em contato com tecidos orgânicos no intuito de melhorar a qualidade de vida do ser humano. Estima-se que o mercado associado a esses materiais envolve 35 bilhões de dólares anuais. Este mercado possui taxa de crescimento anual de 11%, o que indica grande interesse por produtos para tais propósitos (ORÉFICE, 1997).

Os biomateriais requerem a combinação de resistência à corrosão e boas propriedades mecânicas, devido a ação degenerativa dos fluidos fisiológicos e pela realização de esforços tanto estáticos como cíclicos. Para tais fins existem diversas classes de materiais que podem ser empregados: cerâmicos, polímeros, metais e combinação destes.

Dentre os metais sabe-se que os aços inoxidáveis austeníticos são amplamente reconhecidos como materiais de elevada resistência a corrosão por permitem a formação de camada passiva que atua na desaceleração ou até mesmo na interrupção do processo corrosivo, especialmente na presença de oxigênio, além de apresentarem boas propriedades mecânicas. Além dos aços inoxidáveis outros materiais empregados como biomateriais são o titânio e suas ligas, e as ligas de cobalto. Devido ao menor custo, quando comparado aos outros materiais, os aços inoxidáveis são bastante empregados em aplicações biomédicas.

Desde sua criação o aço ISO 5832-1 passou a ser o material de referência mundial na fabricação de implantes, porém apresenta algumas desvantagens em suas propriedades como baixa resistência mecânica, quando recozido, e maior suscetibilidade a corrosão localizada. Assim ele tem sido gradativamente substituído pelo ISO 5832-9 que por apresentar maiores porcentagens de Nitrogênio e Cromo, além de outras alterações na composição, possui maior resistência mecânica e resistência a corrosão localizada (pites ou frestas) (GIORDANI, 2004).

Nesse trabalho foi realizado um estudo comparativo do desempenho a corrosão dos aços ISO 5832-1 e ISO 5832-9 por meio de ensaio de Polarização Cíclica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados nesse trabalho foram os aços inoxidáveis austeníticos ISO 5832-1 e ISO 5832-9, cujas composições são mostradas na tabela 1. Foram empregadas amostras de 15 mm de altura obtidas a partir de uma barra de 15,8 mm de diâmetro.

Tabela 1: Composições químicas dos aços utilizados (% em peso)

Material	C	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	Nb	N	Fe
ISO 5832-1	0,01	0,35	17,8	14,3	1,75	2,76	-	0,07	bal
ISO 5832-9	0,017	0,16	21,1	10,6	3,62	2,44	0,42	0,37	bal

Para caracterização inicial dos materiais, realizou-se a análise por difração de Raios-X para determinar as fases presentes e a existência ou não de precipitados. Em seguida por meio de ataque eletrolítico com ácido oxálico 10% procedeu-se a análise da microestrutura de ambos os aços.

Para os ensaios de corrosão as seguintes operações foram executadas:

As amostras foram lixadas até 600 MESH e presas por fio de cobre a fim de garantir contato elétrico. Em seguida elas foram embutidas em resina epóxi, 70% resina e 30% de endurecedor, e deixadas por 24 h para cura. A camada de resina que possa ter se infiltrado na superfície do material foi retirada. Aproximadamente 25 min antes de cada ensaio na célula eletrolítica as amostras foram novamente lixadas a 600 MESH para garantir iguais tempos de passivação.

Para os ensaios de corrosão utilizou-se um galvanostato / potenciostato marca EG&G modelo 273A do laboratório de Eletrólitos do departamento de química e biologia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Nesses experimentos um Béquere foi limpo na seguinte seqüência: dez min em Potassa Alcoólica, limpeza com água destilada e água ultra-pura, dez min em Sulfonítrica e limpeza com água destilada seguida de água ultra-pura. A seguir foi realizada a montagem da célula eletrolítica utilizando eletrodos de grafita (contra-eletródo) e de calomelano saturado (eletrodo de referência), além da amostra como eletrodo de trabalho, todos imersos em solução de NaCl 0,5 mol/l.

Antes dos ensaios de Polarização Cíclica realizou-se ensaio de Voltametria Cíclica no aço ISO 5832-9 com o objetivo de determinar o potencial de início da hidrólise da solução, ou seja, potencial acima do qual os resultados podem ser comprometidos. Esse ensaio teve como condições de funcionamento partir de 0 V até 1,65 V, em relação ao hidrogênio, a uma taxa de varredura de 20 V/s. O potencial onde a densidade de corrente cresce exponencialmente é aquele buscado nesse ensaio.

No software EG&G 352 foram programadas as condições para o ensaio de Polarização Cíclica. Inicialmente foram determinados os potenciais de corrosão por meio de ensaio ECORR vs. Tempo, por uma hora. A seguir foi realizada Polarização Cíclica com início e término em 0,25 V abaixo do potencial de corrosão e potencial máximo de 1,1 V. A taxa de varredura de 0,33 mV/s. As curvas obtidas foram plotadas em um gráfico do tipo densidade de corrente por potenciais em relação ao hidrogênio.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Difração de Raios-X e Micrografias

A análise iniciou-se pela determinação das fases presentes e da condição da matriz por meio dos difratogramas mostrados nas figuras 1 e 2.

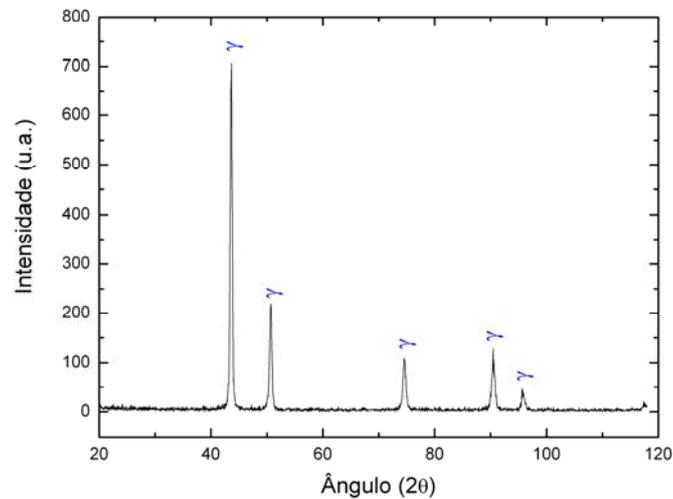


Figura 1: Difração de Raios-X do aço ISO 5832-1.

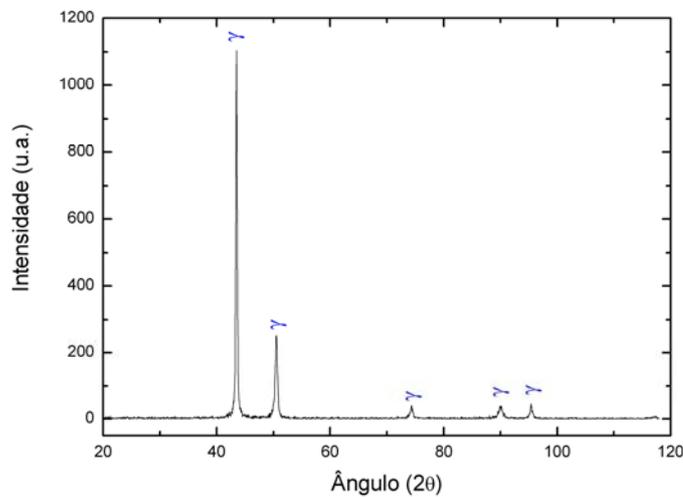


Figura 2: Difração de Raios-X do aço ISO 5832-9.

Na seqüência foi realizada a análise da microestrutura que é mostrada nas figuras 3 e 4 confirmando os resultados da difração de Raios-X, ou seja, a presença de 100 % de austenita.

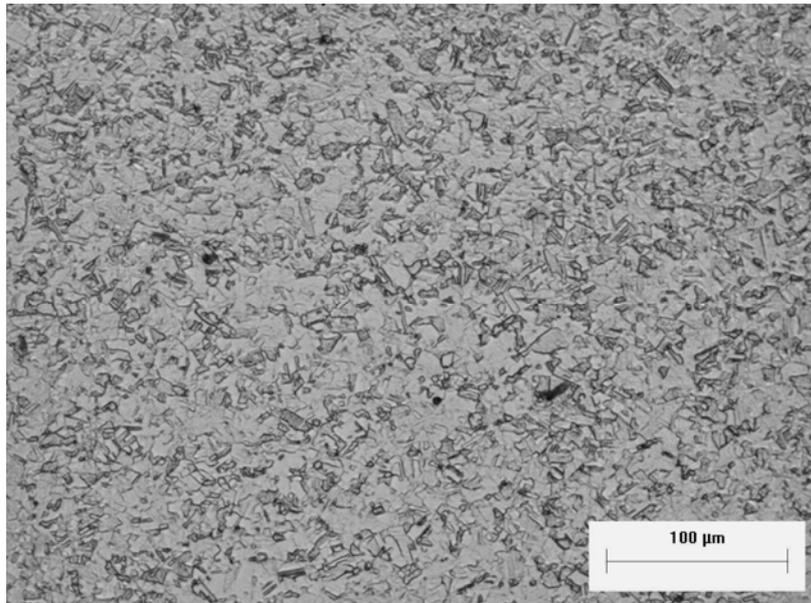


Figura 3: Micrografia do aço ISO 5832-1 (ataque eletroquímico com ácido oxálico 10%).

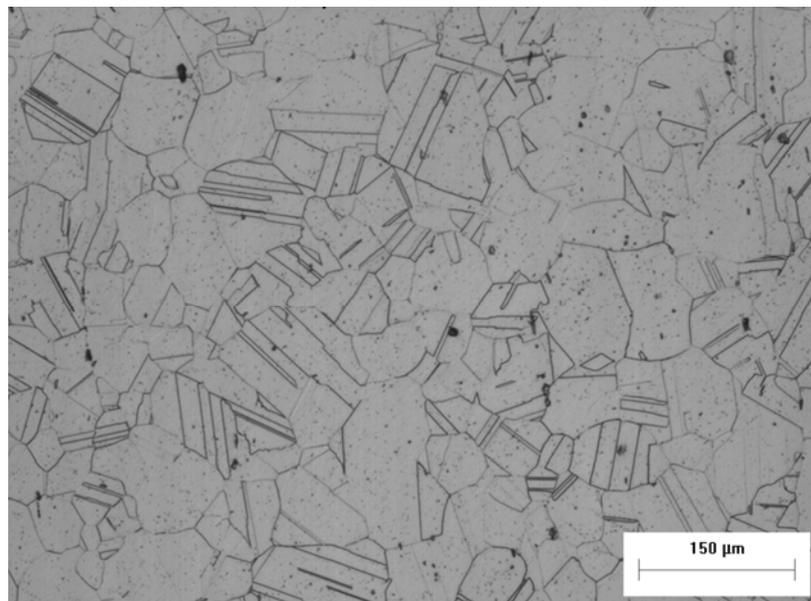


Figura 4: Micrografia do aço ISO 5832-9 (ataque eletroquímico com ácido oxálico 10%).

### 3.2. Ensaio de Voltametria e Ecorr

A figura 5 mostra a curva obtida a partir do ensaio de Voltametria Cíclica. A partir dessa figura pode-se determinar que o início da hidrólise da solução ocorre em aproximadamente 1,3 V, ou seja, acima desse potencial o resultado é comprometido, determinou-se então um limite de 1,1 V para os ensaios subseqüentes.

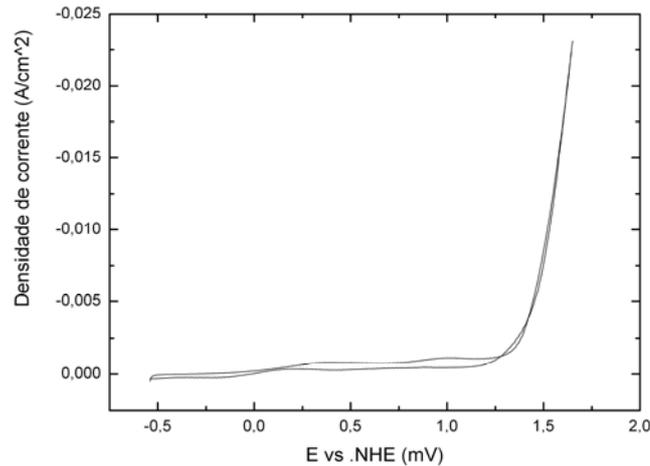


Figura 5: Voltametria do aço ISO 5832-9.

A tabela 2 mostra os valores obtidos para os potenciais de corrosão obtidos no ensaio ECORR vs. Tempo de ambos os aços.

A partir desses dados realizou-se o teste t de Student de comparação de médias. O resultado mostrou que, com 5% de significância, não se pode concluir que o aço ISO 5832-9 possui maior potencial de corrosão, ou seja, não se pode concluir que o material com mais nitrogênio é melhor com respeito a esse parâmetro.

Tabela 2: Potenciais de Corrosão determinados no ensaio de Ecorr x Tempo, em mV.

Amostras	Média	Desvio Padrão
ISO 5832-1	-12,512	23,494
ISO 5832-9	7,183	18,985

### 3.3. Ensaio de Polarização Cíclica

As figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, as curvas obtidas na Polarização Cíclica dos aços ISO 5832-1 e ISO 5832-9. Pode-se observar, como já afirmado, a proximidade entre os potenciais de corrosão de ambos os materiais. Esses potenciais indicam a passagem da região catódica para anódica. Além disso aumento gradativo da densidade de corrente para o ISO 5832-1 no potencial de 900 mV pode indicar o início da transpassivação.

As densidades de corrente maiores para o material com maior quantidade de nitrogênio indicam que a variação na quantidade de diversos outros elementos afetou negativamente o comportamento de corrosão do material. No entanto, um estudo mais detalhado deve ser realizado para averiguar esse fenômeno.

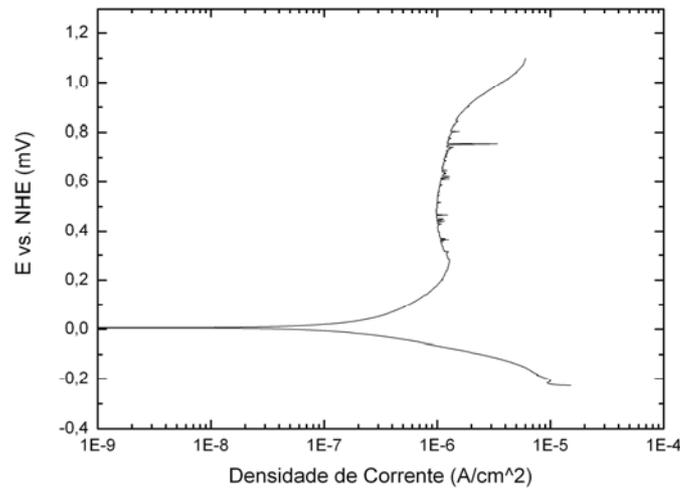


Figura 6: Polarização Cíclica do aço ISO 5832-1.

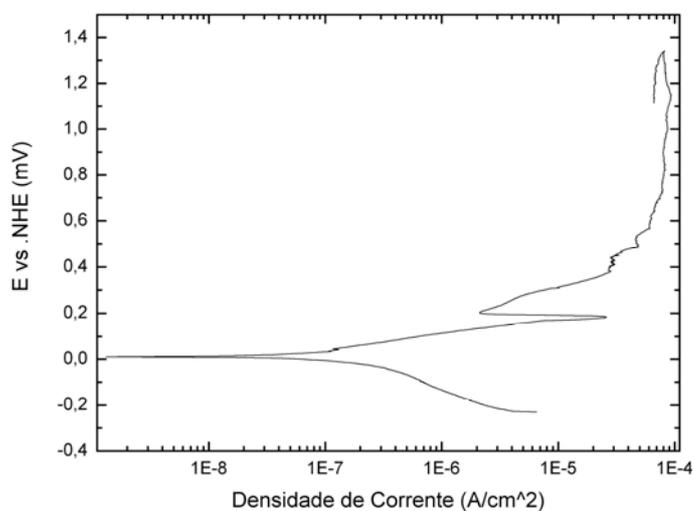


Figura 7: Polarização Cíclica do aço ISO 5832-9.

#### 4. CONCLUSÕES

- Ambos os materiais apresentaram matriz 100% austenítica.
- Através de Voltametria Cíclica obteve-se uma limitação de 1,1V para a realização do ensaio devido à ocorrência de hidrólise na solução, o que pode comprometer os resultados acima desse potencial.
- Apesar de aparentemente o potencial de corrosão do ISO 5832-9 ser maior que o do 5832-1 por comparação de médias utilizando o teste de Student, com 5% de significância, não se pode afirmar isso.
- Determinou-se que o potencial de formação de pites / frestas do aço ISO 5832-9 é maior que 1,1 V, enquanto que o ISO 5832-1 apresentou aparente tendência de transpassivação a partir de 0,9 V o que não pôde ser confirmado nessa fase do estudo.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o PIBIC e a CNPq pela bolsa de iniciação científica e a Villares Metals pela doação do material utilizado na pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

Giordani, E.J. e Guimarães V.A. e Pinto T.B. e Ferreira I., 2003, “Propriedades de Corrosão de dois aços inoxidáveis austeníticos utilizados como Biomateriais”, Simpósio Matéria 2003, Revista Matéria.

Giordani, E.J. e Guimarães V.A. e Pinto T.B. e Ferreira I., 2004, “Propriedades Mecânicas e de Corrosão de dois Aços Inoxidáveis Austeníticos utilizados na fabricação de Implantes Ortopédicos”, Revista Matéria.

Baba, H. e Kodama T. e Katada Y., 2002, “Role of nitrogen on the corrosion behavior of austenitic stainless steel”, Corrosion Science.

Venugopalan, R. e Gaydom J., 2001, “A review of corrosion behavior of Surgical Implant Alloys”, Princeton Applied Research, Technical Review Note 99-01, Perkin Elmer Instruments.

ORÉFICE, R. **Biomateriais**. Belo Horizonte: UFMG, 1997. Disponível em:

<<http://www.demet.ufmg.br/docentes/rodrigo/biomateriais.htm>>. Acesso em: 28 de Fevereiro de 2005.