



**UFABC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC**

**CECS - CENTRO DE ENGENHARIA, MODELAGEM E CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS**

**Programa de Iniciação Científica**

**Edital 04/2022**

Proposta: “ESTUDO DA CORROSÃO POR FRESTAS NO AÇO AISI 316L”

São Bernardo do Campo  
junho de 2022

## **Sumário**

<b>Resumo</b>	3
<b>1. Introdução</b>	3
<b>2. Objetivos</b>	6
<b>3. Metodologia</b>	7
3.1. Ensaio de corrosão por frestas	7
3.2. Avaliação	9
<b>4. Cronograma</b>	9
<b>Referências</b>	10

**Resumo:** O fenômeno da corrosão eletroquímica, com suas diversas formas, causa grande preocupação em inúmeras áreas da engenharia. A corrosão por frestas é uma forma de corrosão localizada, geralmente associada a uma solução estagnada em micro regiões, que ocorre com grande frequência em dispositivos metálicos implantáveis. O aço inoxidável austenítico AISI 316L é uma liga metálica frequentemente aplicada como biomaterial, principalmente como placas de fixação e parafusos. A presente proposta visa estudar o mecanismo de corrosão por frestas no aço AISI 316L, em solução salina de 0,9% NaCl, por meio de ensaios de corrosão por frestas associados a polarização potenciodinâmica.

**Palavras-chave:** Biomateriais metálicos; Aço AISI 316L; corrosão por frestas.

## 1. Introdução

Biomateriais podem ser definidos como dispositivos que entram em contato com sistemas biológicos, inclusive fluidos corpóreos. Possuem aplicações vacinais, terapêuticas, diagnósticas ou cirúrgicas. Sua composição pode ser sintética ou natural [1]. Eles possuem uma importância enorme, visando substituir ou melhorar alguma parte do corpo que esteja comprometida, bem como, funções vitais. Assim, seu estudo se mostra de grande interesse para a sociedade.

Segundo RATNER et. al (2013), o uso dos biomateriais é algo antigo. Por mais que não existisse o conhecimento e tecnologias como as atuais, esse conceito já era empregado há muitos anos. Por exemplo, evidências vagas apontam para o uso de suturas na era Neolítica (1000 anos a.C.). Até a década de 50 não havia preocupação com a biocompatibilidade do material que seria

implantado no organismo, buscavam apenas utilizar algum material capaz de cumprir com a função requisitada. Porém, desde 1950 o estudo de materiais biocompatíveis vem se tornando mais amplo e necessário, ou seja, não basta simplesmente desempenhar bem o seu papel, mas sim, ser durável e compatível com o indivíduo [2].

Além da biocompatibilidade, outros fatores são levados em conta na hora da escolha do biomaterial mais adequado. São eles: biofuncionalidade, resposta à ação corrosiva e propriedades físico-químicas (mecânicas, em sua maior parte) adequadas ao tecido ou sistema biológico ao qual será inserido [3]. Dessa forma, para melhor entendimento e estudo aprofundado, há uma divisão de classes desses biomateriais. Dentre elas, existem os biomateriais cerâmicos, os biomateriais poliméricos, os biomateriais compósitos e os biomateriais metálicos. Sendo, esse último, o que será abordado nesse trabalho.

De acordo com PIRES, BIERHALZ, MORAES (2014), os metais ganham destaque na utilização como biomaterial devido a sua alta resistência à fadiga e à fratura, além do seu incrível desempenho mecânico. Assim, eles são utilizados para substituições de estruturas rígidas. Sendo os usos mais comuns parafusos, próteses, fios, placas estabilizadoras etc. São três as principais classes de biomateriais metálicos: ligas de cobalto, ligas de titânio e aços inoxidáveis [3].

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe), carbono (C) e cromo (Cr) com um mínimo de 10,50% de Cr. O Cr é considerado o elemento mais importante porque é o que dá aos aços inoxidáveis uma elevada resistência à corrosão [4]. O mais utilizado como biomaterial tem a composição muito

próxima do aço inox 316L, pois possui um baixo teor de carbono o que garante uma maior resistência à corrosão em meios ricos em cloreto e salinos [5]. Conforme SILVA (s.d.), “os aços inoxidáveis sofrem corrosão in vivo e [...] podem causar efeitos locais (irritação, inflamação nas áreas adjacentes à interface implante-tecido) e sistêmicos (efeito tóxico sobre o organismo).” Desta forma, o problema da corrosão traz uma certa limitação em relação a seu uso.

Em conformidade com [6], os biomateriais metálicos apresentam algumas falhas em seu uso que buscam ser aprimoradas na atualidade, cabe citar, que até pouco tempo atrás o aço inoxidável austenítico era muito utilizado como biomaterial devido à sua alta resistência à corrosão, porém, ele não era resistente aos fluidos do corpo o que compromete a sua estabilidade química, logo, uma prótese feita com esse material não era durável para o corpo humano.

Ainda sobre falhas associadas ao uso de biomateriais metálicos, “todo biomaterial metálico implantado possui alguma interação com os tecidos em contato, havendo liberação de íons por dissolução, desgaste ou corrosão.” [7]. A composição da liga metálica tem grande influência nessa liberação de íons, visto que a interação com o tecido se dá quando uma molécula do hospedeiro reage com o íon liberado, o qual é proveniente de um mecanismo de degradação [7].

Dessa forma, fica evidente que a corrosão é um dos principais problemas que atinge os biomateriais metálicos, dificultando assim o seu uso e sendo necessário um estudo sobre esse efeito, suas causas, consequências a curto e longo prazo. Deste modo, o conceito de corrosão será abordado a seguir.

Segundo GENTIL (1996), “num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos [8].”

Os tipos de corrosão que ocorrem em aços inoxidáveis são: corrosão geral ou uniforme, que ocorre em velocidade uniforme e resulta em perda de espessura do material; corrosão por pites, que ocorre em velocidade crescente que resulta em perfuração com vazamentos como consequência; corrosão por frestas, que ocorre através da ruptura da camada passiva do material causada por depósitos externos; corrosão intergranular, ocorre nas regiões de contorno de grão na microestrutura do material e se dá através da precipitação de Carbonetos de Cromo (ou nitretos de Cromo); corrosão galvânica, ocorre quando dois metais, contendo grande diferença de potencial galvânico, entram em contato e o mais anódico é o afetado; corrosão sob tensão, ocorre quando o aço é submetido a um meio corrosivo específico e um estado de tensões, ao mesmo tempo, por fim, corrosão microbiológica, se dá, em sua maior parte, em ambientes sem contato com o oxigênio e é causada pelo contato de bactérias com a superfície do aço [9].

## **2. Objetivos**

O presente projeto visa contribuir, no aspecto científico, com um estudo do processo de corrosão por frestas no aço inoxidável AISI 316L. A principal meta do projeto é a caracterização do mecanismo de corrosão por frestas, em solução aquosa de 0,9% NaCl, por meio de experimentos de polarização potenciodinâmica.

Adicionalmente o projeto tem como objetivo, colaborar para o fortalecimento da formação acadêmica do aluno interessado e estimular a discussão sobre o fenômeno da corrosão em materiais metálicos, visando a difusão do conhecimento entre pesquisadores, técnicos e estudantes.

### **3. Metodologia**

Para o desenvolvimento do presente projeto, o aço inoxidável austenítico AISI 316L será empregado. Tal aço é uma liga ferrosa de baixo teor de carbono, contendo 16%Cr, 10%Ni e 2%Mo como principais elementos de liga. É um aço que possui aplicação em diversas áreas, inclusive como biomaterial [2,10]. Amostras cilíndricas deste aço serão preparadas por meio de técnicas metalográficas e posteriormente empregadas para ensaios de corrosão por frestas.

#### **3.1. Ensaio de corrosão por frestas**

O ensaio de corrosão por frestas será realizado com base em normas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) G48 e G78, que trazem recomendações para a realização e monitoramento desses testes [11,12]. Adicionalmente deve-se empregar um dispositivo formador de fresta, para que este conjunto possa então ser imerso na solução de interesse. A Figura 1 apresenta o conjunto, com o metal a ser avaliado, o formador de frestas e um parafuso de fixação.

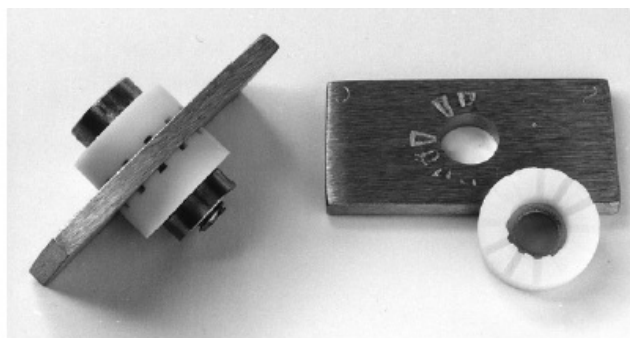


Figura 1 – Exemplo de um dispositivo para formação de múltiplas frestas [8].

O dispositivo para formação de frestas será confeccionado em Telfon, e como eletrólito, será empregada uma solução de 0,9% NaCl. Conforme discutido por vários autores [13] tal solução é suficiente para simular a concentração de íons cloreto, encontrada em fluidos corpóreos.

As curvas de polarização potenciodinâmicas, de acordo com a norma ASTM G61 (2018) [14], serão obtidas utilizando-se uma solução aquosa não aerada de 0,9% de NaCl em massa, em um sistema conforme a Figura 2.

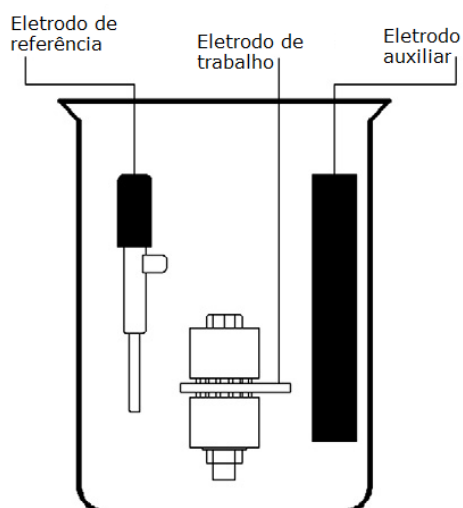


Figura 2 – Diagrama esquemático da célula com três eletrodos [15].

A célula eletroquímica empregada para obtenção das curvas é composta por um eletrodo de referência de calomelano saturado (ER), um eletrodo de



auxiliar de platina (EA) e o eletrodo de trabalho (ET), que se trata da amostra a ser testada com o dispositivo formador de frestas, de acordo com a Figura 1. Os eletrodos são conectados a um potenciostato que aplica a voltagem e monitora a corrente do sistema.

Neste estudo, os testes serão conduzidos à temperatura ambiente e a polarização aplicada para acelerar o processo de corrosão por frestas. Os experimentos de polarização potenciodinâmica serão conduzidos em amostras com o dispositivo formador de frestas e em amostras sem o dispositivo formador de frestas.

Após os experimentos, a área da superfície corroída será calculada com o auxílio de imagens de microscopia óptica e a profundidade de penetração da corrosão obtida por microscopia confocal a laser.

### 3.2. Avaliação

Após ensaios de corrosão por frestas as amostras serão avaliadas principalmente por microscopia óptica e por microscopia confocal a laser. Estas técnicas têm o intuito de fornecer a extensão do processo de corrosão em cada fresta formada, na superfície do aço. Assim, torna-se possível uma comparação dos resultados de área e/ou profundidade corroída, em função das condições de ensaio.

## 4. Cronograma

O presente projeto será realizado em cinco etapas, conforme o cronograma apresentado abaixo, na Tabela 1. A **primeira etapa** tem a intenção de promover a inserção do aluno dentro do tema da pesquisa. Para tanto, os

dois primeiros meses serão dedicados a uma pesquisa bibliográfica e também ao aprendizado de procedimentos laboratoriais.

A **segunda etapa** compreende a preparação de amostras para o ensaio de corrosão por frestas. Esta etapa contempla o corte, lixamento e polimento de amostras metálicas. A **terceira etapa** engloba a realização dos ensaios de corrosão. Para tanto são reservados pelo menos cinco meses, visando a possibilidade de realização de diversos experimentos em amostras do aço a ser estudado. Na **quarta etapa** as técnicas de microscopia serão aplicadas com o intuito de se avaliar a extensão do processo de corrosão.

Tabela 1 – Cronograma com as etapas do presente projeto.

Ano	2022 / 2023											
Etapas/Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Pesquisa bibliográfica	X	X										
2. Preparação de amostras			X	X								
3. Corrosão por frestas					X	X	X	X	X			
4. Microscopia									X	X	X	
6. Redação						X	X				X	X

Por fim, a **quinta etapa** envolve a redação do relatório parcial, após seis meses de projeto, e também do relatório final.

## Referências

[1] PIRES, Ana Luiza R.; BIERHALZ, Andrea C. K.; MORAES, Ângela M.. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. Scielo Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/th7gjVpvdpthnctYbhtFznN/?lang=pt>. Acesso em: 31 maio 2022.

- [2] RATNER, Buddy D. et. al. Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine. Terceira Edição. Oxford: Elsevier, 2013.
- [3] BRAGA, Francisco José C. Materiais aplicados na medicina e odontologia: Físico-Química e Resposta Biológica. Primeira edição. Brasil: Artliber, 2015.
- [4] BRANT, Leonardo. Aços inoxidáveis: aplicações e especificações. Arcelor Mittal, 2008. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35263369/Apostila\\_aco\\_inox\\_Arcelor\\_Mittal-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1654364386&Signature=a1K3zs6YbjVRzHPi~dsKv40QY6bg~Y63uK1NuEySwjwRS~2eoQGvYc2ckSbi~Gp-pbkQJCiW1I7gS7f1vvgLO0ES0-Rsim8JKOow68dnbNlxXELxq4KFj7ZAFRTgEpUoWTkf-MRR9J2ZkoddWNw3cFIB2mPuj~DmF6F0w9JUqtB7f6ZcQpF2~oakkqFVdtkPzKchjkBB-0rEi819YDb8UmJfEsK8ovlBFYe5pS1cGuvZVuFOUWDCIfQ6Yfm1WJAP0EV8ki~wgsg-Jlb6rwkthXshn86bLSCJH7upViCzW-vTLR06UiSKpc7zp548bPS9P28v7Q6vSG5qo4377tnF-w\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35263369/Apostila_aco_inox_Arcelor_Mittal-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1654364386&Signature=a1K3zs6YbjVRzHPi~dsKv40QY6bg~Y63uK1NuEySwjwRS~2eoQGvYc2ckSbi~Gp-pbkQJCiW1I7gS7f1vvgLO0ES0-Rsim8JKOow68dnbNlxXELxq4KFj7ZAFRTgEpUoWTkf-MRR9J2ZkoddWNw3cFIB2mPuj~DmF6F0w9JUqtB7f6ZcQpF2~oakkqFVdtkPzKchjkBB-0rEi819YDb8UmJfEsK8ovlBFYe5pS1cGuvZVuFOUWDCIfQ6Yfm1WJAP0EV8ki~wgsg-Jlb6rwkthXshn86bLSCJH7upViCzW-vTLR06UiSKpc7zp548bPS9P28v7Q6vSG5qo4377tnF-w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acesso em: 4 jun. 2022.
- [5] SILVA, Marcelo Henrique Prado. Apostila de Biomateriais. Sem data. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM314/Material%20Guia%20da%20disciplina%20de%20Aspers%C3%A3o%20T%C3%A9rmica/ApostilaBiomateriais.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2022.
- [6] Biomateriais metálicos na ortopedia. SAEMM, 2020. Disponível em: <https://saemm.eesc.usp.br/infomateriais/biomateriais-metalicos-na-ortopedia/>. Acesso em: 4 jun. 2022.
- [7] MORAIS, Liliane Siqueira; GUIMARÃES, Glaucio Serra; ELIAS, Carlos Nelson. Liberação de íons por biomateriais metálicos. Scielo Brasil, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/dpress/a/XDTwZXL3tXNd7bSjWjJYDGm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- [8] GENTIL, Vicente. Corrosão. Terceira Edição. Rio de Janeiro: Editora S.A., 1996.

- [9] CARVALHO, José Antônio Nunes. Abinox, s.d. Disponível em: <https://www.abinox.org.br/site/capacitacao-aprenda-com-especialista-corrosao-em-acos-inoxidaveis.php?cod=395>. Acesso em: 4 jun. 2022.
- [10] N.J. Hallab, J.J. Jacobs, J.L. Gilbert, Corrosion of metallic implants, in: A. Shanbhag, H.E. Rubash, J.J. Jacobs, Joint Replacement and Bone Resorption, Taylor & Francis: New York, p. 211-254, 2006.
- [11] 'Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution', ASTM-G48, ASTM, Philadelphia, PA, USA, 11 p., 2011.
- [12] 'Standard guide for crevice corrosion testing of iron-base and nickel-base stainless alloys in seawater and other chloride-containing aqueous environments', ASTM-G78, ASTM, Philadelphia, PA, USA, 7 p., 2015.
- [13] R.J. Solar, Corrosion resistance of titanium surgical implant alloys: A review, in: B.C. Syrett, A. Acharya, Corrosion and Degradation of Implant Materials; ASTM Special Technical Publication, ASTM International: Philadelphia, v. 684, p. 259-273, 1979.
- [14] ASTM Standard G61, Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys, 2018.
- [15] B. Cai, Y. Liu, X. Tian, F. Wang, H. Li, R. Ji, Corrosion Science, v. 52, p. 3235-3242, 2010.