

# ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 304L\*

Leonilson Toffoli Pedrini<sup>1</sup>  
Rômulo Maziero<sup>2</sup>  
Leonardo Cabral Gontijo<sup>3</sup>  
João Alberto Fioresi Altoé<sup>4</sup>

## Resumo

A corrosão ocorre devido à deterioração de um material pela ação química ou eletroquímica em meio corrosivo, sujeito ou não a esforços mecânicos, causando modificações indesejáveis, tais como perda de massa, alterações estruturais e variações químicas. O aço inoxidável austenítico AISI 304L é utilizado em grande escala pelas indústrias por apresentar baixo custo e boa resistência à corrosão decorrente da camada de passivação. A passividade dos aços inoxidáveis em eletrólito com íons de cloreto é destruída em pontos ou áreas localizadas. Neste trabalho foi analisado, por meio de ensaios eletroquímicos, a resistência à corrosão do aço AISI 304L. Foi utilizada gaiola catódica em chapa de aço inoxidável 316, com dimensões de 0,8 mm de espessura, 112 mm de diâmetro, furos de diâmetro de 25 mm de altura e 8 mm uniformemente distribuída, com um distância de 9,2 mm entre furos. Os tratamentos térmicos foram realizados a 700, 800 e 900°C, respectivamente. Os resultados indicam que a resistência à corrosão das amostras tratadas diminuiu, devido a precipitação de nitretos quando são submetidas a processos em altas temperaturas.

**Palavras-chave:** Impedância; Polarização; Gaiola catódica; Plasma.

## ANALYSIS OF CORROSION RESISTANCE STAINLESS STEEL AISI 304L AUSTENITIC

### Abstract

Corrosion occurs due to the deterioration of a material by chemical or electrochemical means corrosive action, subjected to mechanical stress, resulting in the undesirable changes such as weight loss, chemical modifications or structural variations. The AISI 304L is used by the industry on a large scale because of the lower cost and good corrosion resistance due to formation of the passive layer. The austenitic stainless steels have their passivity destroyed by chloride ions in points or localized areas. This work was analyzed by means of electrochemical tests, the corrosion resistance of austenitic stainless steel AISI 304L, was used for this cathodic cage 316 stainless steel plate with dimensions of 0.8 mm thick, 112mm diameter, diameter holes of 25 mm height and 8 mm uniformly distributed with a distance of 9.2 mm between holes. The heat treatments were performed at 700, 800 and 900°C, respectively. The results indicate that the corrosion resistance of the samples decreases due to precipitation of nitrides, when subjected to treatment at high temperatures.

**Keywords:** Impedance; Polarization; Cathodic cage; Plasma.

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>3</sup> D.Sc. Ciência e Engenharia dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento do processo corrosivo faz parte das decisões administrativas para evitar perdas de produção e paradas da unidade por corrosão de equipamentos. Essas perdas resultam em altos gastos não planejados [1,2].

Em todos os setores industriais e, mesmo, em aplicações mais cotidianas, a corrosão é um problema frequente e que requer um estudo criterioso para entendimento do processo corrosivo e, aplicação da melhor técnica de proteção. Para o estudo do comportamento do material, quando submetido a condições favoráveis à corrosão, diversos métodos têm sido propostos: análise de solução, detecção de corrente galvânica e medição de resistência elétrica. Dentre esses métodos, a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), tem se destacado como opção quando utilizada em sistemas de alta resistividade [3]. A técnica de EIE atende a sistemas eletroquímicos que não se alteram em função do tempo de ensaio. Por meio da aplicação de um sinal ac, em uma ampla faixa de frequências e potenciais, essa técnica possibilita uma resposta em tempos característicos distintos [4].

As curvas de polarização apresentam boa aplicação no estudo das interações metal-solução, mas não é mais indicada para o monitoramento da corrosão. Quando se submete um material a um determinado potencial, diferente do potencial de corrosão é possível avaliar o comportamento do material diante da variação desse potencial e, então gerar a curva de polarização e as inclinações de Tafel [5].

Os aços inoxidáveis 304 e 304L são conhecidos como 18/8 inoxidável devido à composição química, que inclui cerca de 18% de cromo e 8% de níquel em peso. Os aços inoxidáveis são fáceis de conformar, apresentam boa soldabilidade e possuem diversas aplicações devido a resistência à corrosão. Os aços inoxidáveis são amplamente utilizados em trocadores de calor, dutos, vasos de pressão, flanges, conexões, válvulas e condensadores. O tipo 304L é uma variação do tipo 304 e possui um menor teor de carbono que aumenta a soldabilidade e reduz o risco de corrosão em torno da solda.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a resistência à corrosão do material em função da variação do potencial aplicado, por meio da técnica de impedância e polarização.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado no presente estudo foi o aço inoxidável austenítico AISI 304L, cuja composição química é apresentada na Tabela 1.

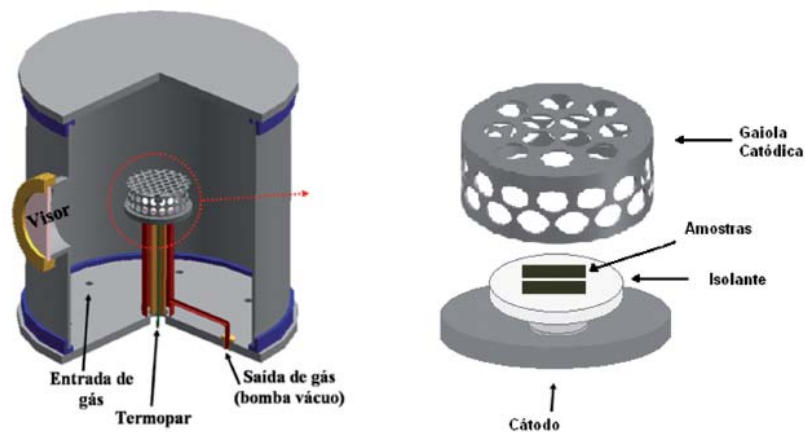
**Tabela 1** - Composição química do aço inoxidável AISI 304L (% em peso)<sup>[6]</sup>

Elementos	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	N <sub>2</sub>
Valores % massa	0,02	1,30	0,40	18,00	8,00	-	-	-	0,05

Amostras do AISI 304L foram usinadas em formas cilíndricas, lixados com 320, 400, 600 e 1200 lixa, e polido com 1 e 0,3 mm de diamante usando um disco de feltro. As amostras foram limpas por ultra-sons num banho de acetona e colocado na câmara de nitretação.

O sistema de nitretação consistiu de uma câmara de vácuo cilíndrica de aço inoxidável (40 cm de diâmetro e 40 cm de altura), equipado com um sistema de evacuação, com um fluxo de gás controlado por um controlador de fluxo de massa, e

uma fonte de alimentação (tensão máxima de 1500 V, no máximo corrente elétrica de 2 A). Este sistema é similar ao arranjo de nitretação de plasma convencional, mas com a adição de uma gaiola catódica em chapa de aço inoxidável 316, com dimensões de 0,8 mm de espessura, 112 mm de diâmetro, furos de diâmetro de 25 mm de altura e 8 mm uniformemente distribuída, com um distância de 9,2 mm entre furos. O plasma foi formado na gaiola catódica, ou seja, sobre a peça de trabalho em vez da superfície da amostra carregado negativamente, conforme esquema similar apresentado na Figura 1.



**Figura 1** - Corte do reator de nitretação a plasma, com detalhe da gaiola catódica [7-9].

As amostras foram pré-tratadas com plasma de hidrogênio durante 30 minutos a 300°C. As condições de tratamento foram: cinco horas de nitretação catódica utilizando uma gaiola 95% N<sub>2</sub>-5% de mistura de CH<sub>4</sub>, e dez horas de cementação convencional de plasma, utilizando 78% de H<sub>2</sub>-20% N<sub>2</sub>-2% mistura de CH<sub>4</sub>. Os dois processos foram realizados a 700, 800 e 900°C, respectivamente. O fluxo de 20 sccm foi ajustado por um controlador. O tratamento foi realizado sob uma pressão de 500 Pa, o que foi medida com um manômetro de capacitância Barocel ajustado manualmente. Depois da nitretação, as amostras foram atacadas com o reagente Beraha II.

Os ensaios de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica foram realizados no Laboratório de Corrosão do IFES (*Campus Vitória*), em um potenciostato-galvanostato da marca Ivium. As amostras foram imersas em soluções de 3,5% NaCl em água destilada. O tempo de imersão para o teste de impedância foi de 1800s e para o de polarização de 100s. Foi utilizado um arranjo experimental de três eletrodos: um eletrodo de calomelano saturado (ECS), um de platina como contra eletrodo e a amostra como eletrodo de trabalho, conforme Figura 2.

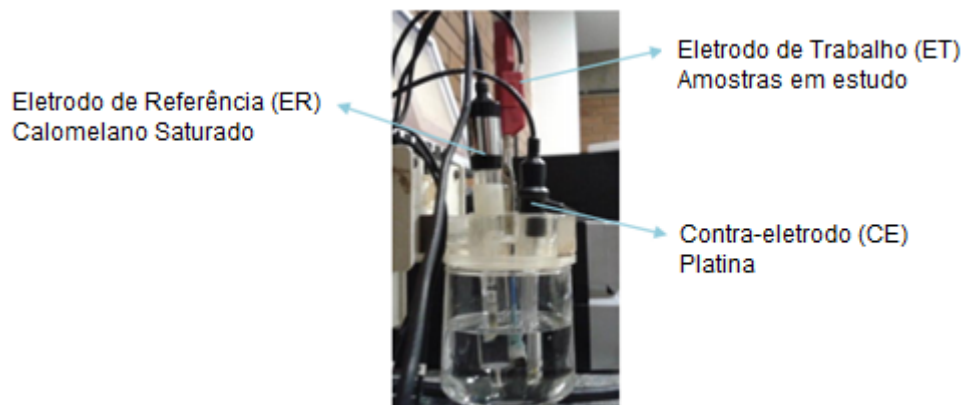


Figura 2 - Célula eletroquímica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior arco no  $Z''$  (Ohm) do eixo imaginário indica maior capacitância. Os tratamentos realizados nas amostras do aço inoxidável 304L provocaram uma redução na capacidade de resistir à corrosão, isto é demonstrado na Figura 3, onde nota-se que o arco linha azul - MTZ foi o da amostra sem tratamento. As amostras tratadas a 700 (linha preta), 800 (linha vermelha) e 900°C (linha verde), respectivamente, apresentaram menor resistência à corrosão.

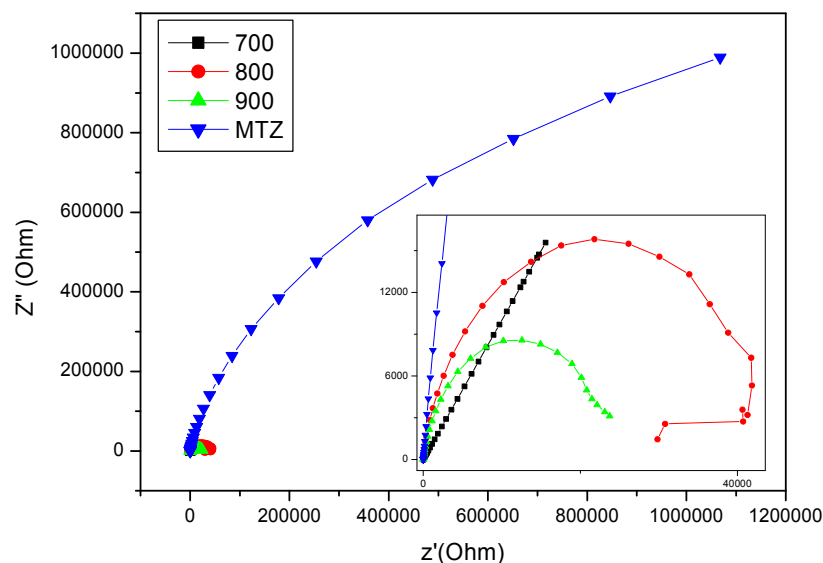
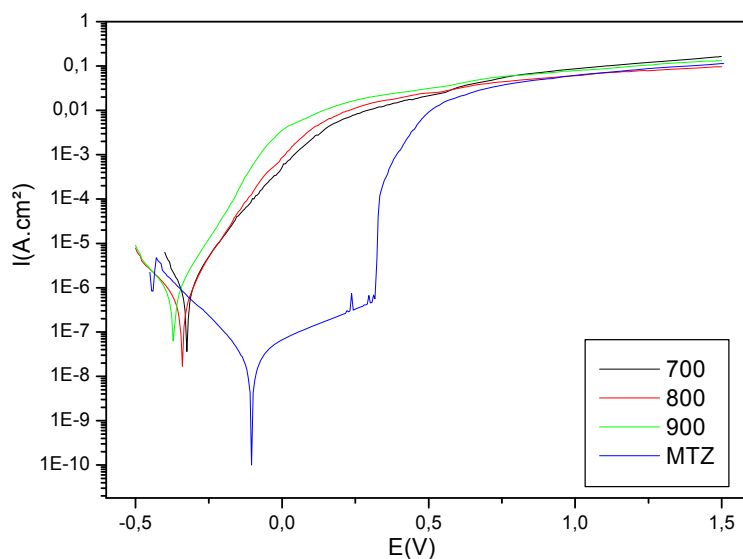


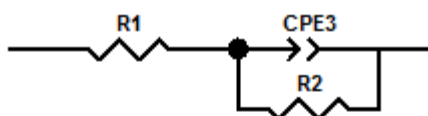
Figura 3 - Diagrama de Nyquist (amostras com tratamento de 700°C, 800°C, 900°C e sem tratamento - MTZ).

Na Figura 4, observa-se que a amostra sem tratamento (linha azul - MTZ), foi a que apresentou maior potencial de corrosão, por outro lado as amostras tratadas a temperaturas elevadas apresentaram um baixo potencial de corrosão, o que demonstra que o tratamento térmico provocou redução na capacidade do aço inoxidável 304L em resistir à corrosão.



**Figura 4** - Curvas obtidas em ensaios de polarização com eletrodo de calomelano como referência em solução 3,5% NaCl.

Os parâmetros de ajuste do espectro de impedância são apresentados na Figura 5a - 5d.

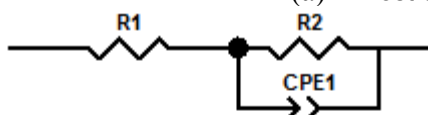


Element	Freedom	Value	Error	Error %
R1	Free(±)	11,75	0,69899	5,9489
CPE3-T	Free(+)	5,9009E-05	4,1993E-06	7,1164
CPE3-P	Free(±)	0,76248	0,012103	1,5873
R2	Free(+)	13439	762,88	5,6766

Chi-Squared: 0,010723

Weighted Sum of Squares: 0,34315

(a) Amostra 304L-700-IMP-001

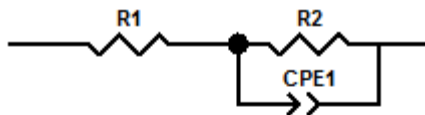


Element	Freedom	Value	Error	Error %
R1	Free(+)	16,48	0,54352	3,2981
R2	Free(+)	37126	1127,8	3,0378
CPE1-T	Free(+)	1,6173E-05	6,9513E-07	4,2981
CPE1-P	Free(+)	0,87312	0,0073293	0,83944

Chi-Squared: 0,003976

Weighted Sum of Squares: 0,12723

(b) Amostra 304L-800-IMP-001

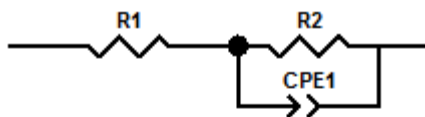


Element	Freedom	Value	Error	Error %
R1	Free(+)	12,71	0,19845	1,5614
R2	Free(+)	23150	395,8	1,7097
CPE1-T	Free(+)	2,9626E-05	6,0192E-07	2,0317
CPE1-P	Free(+)	0,84837	0,0035426	0,41758

Chi-Squared: 0,00089808

Weighted Sum of Squares: 0,026942

(c) Amostra 304L-900-IMP-001



Element	Freedom	Value	Error	Error %
R1	Free(+)	14,09	0,34138	2,4229
R2	Free(+)	2,0331E06	99571	4,8975
CPE1-T	Free(+)	1,0149E-05	1,652E-07	1,6277
CPE1-P	Free(+)	0,89433	0,0030553	0,34163

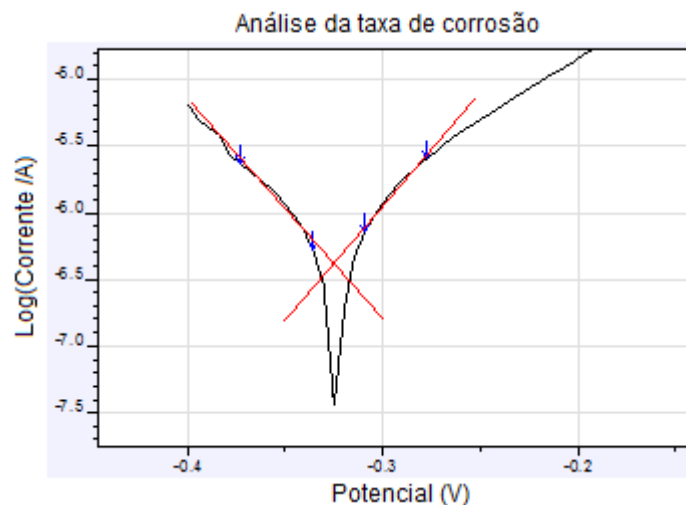
Chi-Squared: 0,0019691

Weighted Sum of Squares: 0,063011

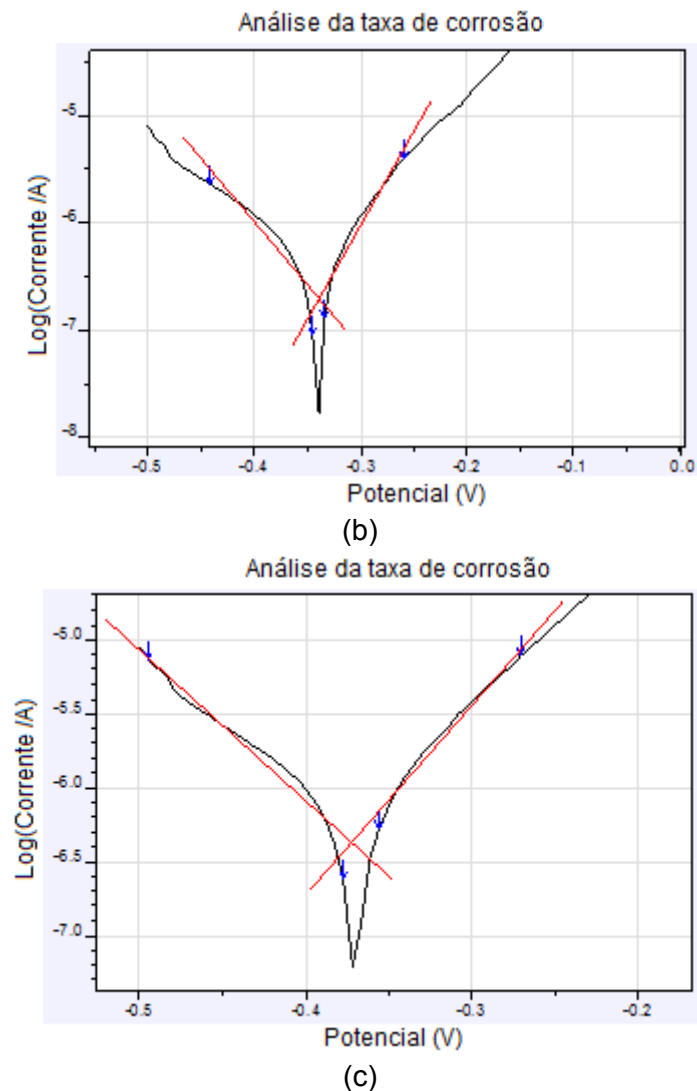
(d) Amostra 304L-MTZ-IMP-001

**Figura 5** - Dados obtidos das amostras após análise do circuito equivalente no software Zview.

Na Figura 6a - 6c é apresentado o comportamento da amostra quando submetida ao ensaio, nota-se a zona do potencial onde ocorre a passivação (entre -0,5 e 0,0) e as diferentes regiões anódicas e catódicas.



(a)



**Figura 6** - Curvas de polarização anódica e catódica num diagrama monologarítmico.

Os dados da Tabela 2 são extraídos da curva anódica por meio da extrapolação das retas de Tafel.

**Tabela 2** - Potencial de corrosão (E. Corr), densidade de corrente no potencial de corrosão, Resistência a polarização (Rp) e taxa de corrosão das amostras (a) 304L-700-POL-001, (b) 304L-800-POL-001 e (c) 304L-900-POL-001.

<b>Tafel</b>	
E. corr V	-0.3254
i cor. A	4,15E-04
I cor. A/cm <sup>2</sup>	4,15E-04
Rp Ohm	3,13E+07
T. corrosão mm/y	<b>0.001357</b>

(a)

	<b>Tafel</b>
E. corr V	-0.3395
i cor. A	1,95E-04
I cor. A/cm <sup>2</sup>	1,95E-04
Rp Ohm	7.6E4
T. corrosão mm/y	<b>0.0006387</b>

(b)

	<b>Tafel</b>
E. corr V	-0.3726
i cor. A	4,30E-04
I cor. A/cm <sup>2</sup>	4,30E-04
Rp Ohm	4,39E+07
T. corrosão mm/y	<b>0.001407</b>

(c)

As curvas de polarização tendem assintoticamente para o potencial de equilíbrio à medida que a densidade de corrente tende a zero.

Os valores de taxas de corrosão (mm/y) obtidos para as amostras tratadas indicam baixa resistência à corrosão. Conforme literatura [10], taxas de corrosão na faixa de 0,001589 estão relacionadas a materiais com excelente resistência à corrosão.

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, à temperaturas elevadas a resistência à corrosão do aço AISI 304L foi irrelevante.

Portanto, pode-se concluir que a amostra sem tratamento apresentou maior potencial de corrosão, quando comparado as amostras tratadas.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo auxílio financeiro e ao IFES pela estrutura física.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Serra, E. T.; Fragata, F. L. O impacto e as consequências da corrosão para a sociedade. 21º Congresso ABRACO, 2001.
- 2 Ferreira, P. A.; Mota, C. V. O gerenciamento da corrosão como ferramenta na tomada de decisões: projeto, operação, inspeção e manutenção. 19º Congresso ABRACO, 1999.
- 3 Rios, E. C. Estudo da corrosão em aço AISI 1020 em meio de petróleo. 2011, 112 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade federal de São Carlos, São Paulo, 2011.
- 4 Bueno, P.; Carvalho, L. A.; Andrade, A. R. Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em ânodos dimensionalmente estáveis. Química Nova, v. 29, n. 4, p. 796-804, 2006.
- 5 Domingues, H. C. N. Estudo do comportamento eletroquímico do aço carbono, em meio de bicarbonato de sódio e gás carbônico, utilizando a técnica do ruído eletroquímico. 2010, 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.



- 6 Sanches, L. P. Estudo comparativo quanto a resistência à corrosão entre aços inoxidáveis utilizados em trocadores de calor. 2009, 79 f. Graduação (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009
- 7 Daudt, N. F.; Barbosa, J. C. P.; Macêdo, M. O. C.; Nascimento Neto, A. B.; Guerra Neto, C. L. B.; Alves Jr, C. Estudo da viabilidade da técnica de plasma em descarga de gaiola catódica para obtenção de filmes de TiN para revestimentos biocompatíveis. Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde, v. 2, n. 2, p. 16-24, 2012.
- 8 Souza, R. R. M.; Araújo, F. O.; Costa, J. A. P.; Brandim, A. S.; Brito, R. A.; Alves Jr, C. Cathodic Cage plasma nitriding: an innovative technique, Hindawi Publishing Corporation Journal of Metallurgy, v. 2012, Article ID 385963, 6 pages, 2011.
- 9 Bottoni, C. L. R.; Gripa, D. C.; Gontijo, L. C. Desenvolvimento da técnica de deposição de filmes finos por gaiola catódica. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 32, n. 1-2, p. 25-30, 2013.
- 10 Fontana, M. G. Corrosion Engineering. 3rd Edition, B & Jo Enterprise Pte Ltd., Singapore, 1988, p. 443.