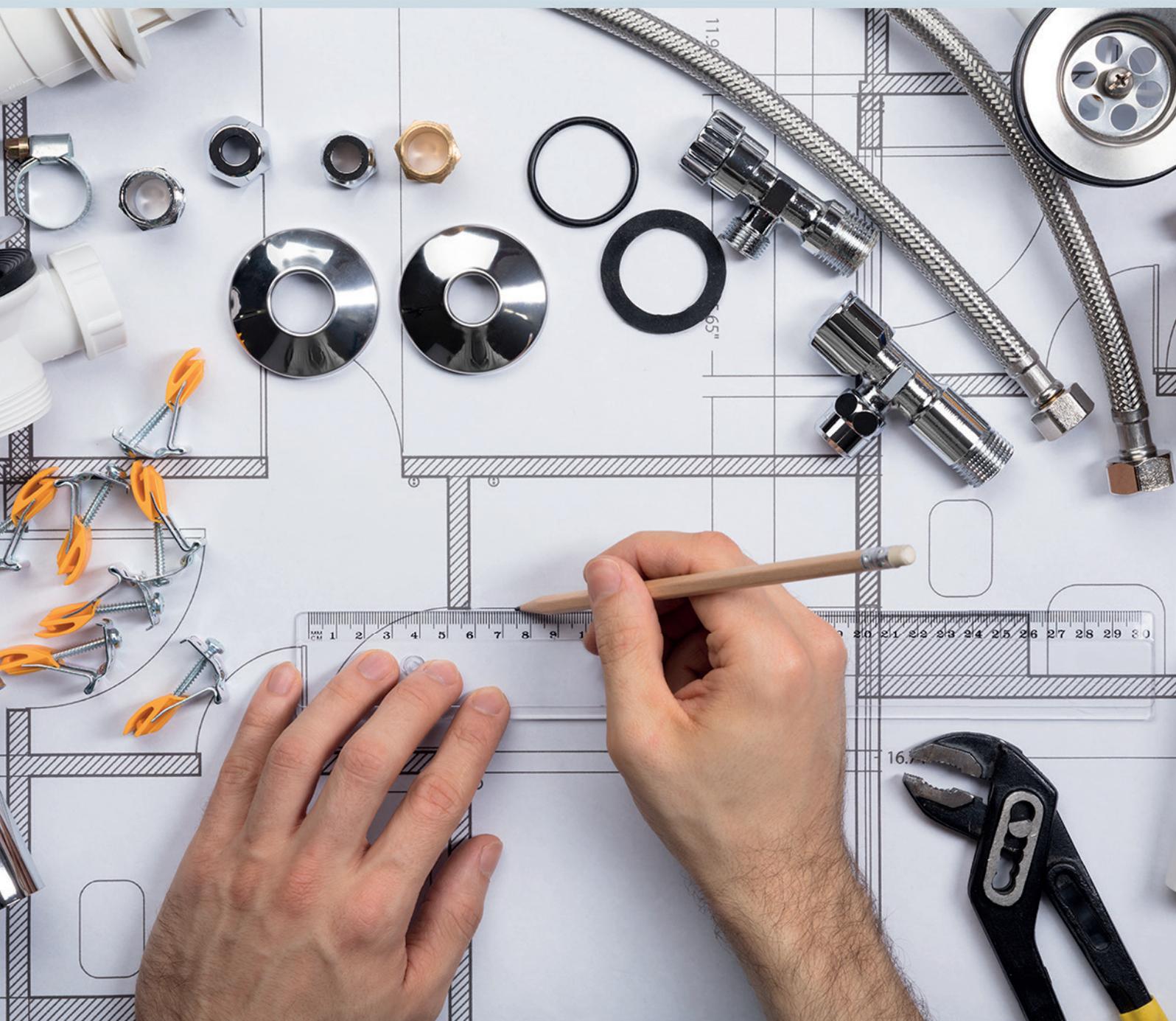


# Ciência e Engenharia de Materiais

2

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

## **2**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 2 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-63-5

DOI 10.22533/at.ed.635183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CARBETO DE VANÁDIO NA MOAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 52100, PRODUZIDO POR METALURGIA DO PÓ	
<i>Leandra Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Bruna Horta Bastos Kuffner</i>	
<i>Daniela Sachs</i>	
<i>Gilbert Silva</i>	
<i>Geovani Rodrigues</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM INNERSHIELD NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA DE UM AÇO ESTRUTURAL ASTM – A36	
<i>Waldemir dos Passos Martins</i>	
<i>Paulo Victor Cunha Caetano</i>	
<i>Valdemar Silva Leal</i>	
<i>Valter Alves de Meneses</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO AÇO INOXIDÁVEL 17-4 PH NITRETADO UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS	
<i>Ane Caroline Celestino Silva</i>	
<i>Lucas da Silva Vicente</i>	
<i>Christian Egídio da Silva</i>	
<i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i>	
<i>Cirlene Fourquet Bandeira</i>	
<i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BAIXO CARBONO APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	
<i>Vanessa Moura de Souza</i>	
<i>Vinicius Martins</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>43</b>
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS MATRIZES METÁLICAS DO SISTEMA FE-CU-NB OBTIDAS POR Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Marcello Filgueira</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>58</b>
ESTUDO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO NA SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA 356.0	
<i>Laura Ferrazza Kirch</i>	
<i>Amanda Yuki Shimosaka</i>	
<i>Dalmarino Setti</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>65</b>
ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DAS MATRIZES METÁLICAS DE FE-CU-25%NB E FE-CU-25%CO DURANTE A Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Adriano Corrêa Batista</i>	
<i>Luis Guerra Rosa</i>	
<i>Paulo Santos Assis</i>	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>84</b>
TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-CO P20 E AÇO-FERRAMENTA M2	
<i>Ronaldo Câmara Cozza</i>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>92</b>
ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DO AÇO ABNT 1045 APÓS TÊMPERA E REVENIMENTO	
<i>João Paulo Montalván Shica</i>	
<i>Matheus Henryque Almeida e Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>105</b>
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE RIGIDEZ SOBRE AS FREQUÊNCIAS NATURAIS DE PLACAS DE ALUMÍNIO	
<i>Pietro Olegário da Silva</i>	
<i>Adriana Amaro Diacenco</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
ANÁLISE DA MICRODUREZA E CORROSÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW NA CHAPA DE AÇO DOBRADA TIPO U	
<i>Josemairon Prado Pereira</i>	
<i>Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>129</b>
ANÁLISE DO CICLO TÉRMICO DE UM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA BAIXA LIGA UTILIZANDO MÉTODO DIRETO E EQUAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Thyálita Coêlho Moreira Mousinho</i>	
<i>Thaís Spíndola Garcêz</i>	
<i>José Francisco dos Reis Sobrinho</i>	
<i>Nelson Guedes de Alcântara</i>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>138</b>
MICROFURAÇÃO COM LASER PULSADO ND:YAG EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L	
<i>Dair Ferreira Salgado Junior</i>	
<i>Vicente Afonso Ventrella</i>	
<i>Juno Gallego</i>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>153</b>
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE LÂMINAS DE SERRA NO CORTE DA MADEIRA COM APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
<i>Daniel Villas Bôas</i>	
<i>Elder Jesus Lima Machado</i>	
<i>Vanessa Ferreira Neves</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>160</b>
O EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE HOMOGENEIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO EM DEFORMAÇÃO A FRIO DAS LIGAS TI-35NB E TI-35NB-0,15SI	
<i>Késia Filadélfia Dionizio Silva Ramos</i>	
<i>Helton José Rodrigues Cabral</i>	
<i>Reinan Tiago Fernandes dos Santos</i>	
<i>Wilton Walter Batista</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>173</b>
LIGA DE MAGNÉSIO AZ91D: AVALIAÇÃO DA BIODEGRABILIDADE E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO	
<i>Ronaldo Veronês Nascimento</i>	
<i>Ângela Beatriz Coelho Arnt</i>	
<i>Marcio Roberto da Rocha</i>	
<i>Steferson Luiz Stares</i>	

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>184</b>
INFLUÊNCIA DO PH E DO TEMPO DE IMERSÃO NA SILANIZAÇÃO JUNTO DE TANINOS PARA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DE AÇOS GALVANIZADOS	
<i>Bruno Pienis Garcia</i> <i>Álvaro Meneguzzi</i>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>194</b>
A NEW PROCEDURE TO DETERMINE THE PERMITTIVITY OF RADAR ABSORBING MATERIALS	
<i>Tamara Indrusiak Silva</i> <i>Iaci Miranda Pereira</i> <i>Jorge A. Mitrione Souza</i> <i>Marbey Manhães Mosso</i> <i>Ângelo M. Leite Denadai</i> <i>Jéferson Gomes da Silva</i> <i>Alan Reis de Oliveira</i> <i>Bluma Guenther Soares</i>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>204</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO A BASE DE NIÓBIO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE AÇO-CARBONO (SAE 1020)	
<i>Paloma Detlinger</i> <i>Brian Utri</i> <i>Guilherme Arielo Rodrigues Maia</i> <i>Rodrigo Helleis</i> <i>Cynthia Beatriz Fürstenberger</i> <i>Everson do Prado Banczek</i>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>213</b>
CORROSÃO E BIOCORROSÃO EM AÇO CARBONO	
<i>Diana Magalhães Frazão</i> <i>Ivanilda Ramos de Melo</i> <i>Severino Leopoldino Urtiga Filho</i>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>218</b>

## DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO A BASE DE NIÓBIO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE AÇO-CARBONO (SAE 1020)

### **Paloma Detlinger**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Química  
Guarapuava – Paraná

### **Brian Utri**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Química  
Guarapuava-Paraná

### **Guilherme Arielo Rodrigues Maia**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Química  
Guarapuava-Paraná

### **Rodrigo Helleis**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Química  
Guarapuava-Paraná

### **Cynthia Beatriz Fürstenberger**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Biologia  
Guarapuava-Paraná

### **Everson do Prado Banczek**

Universidade Estadual do Centro Oeste,  
Departamento de Química  
Guarapuava-Paraná

**RESUMO:** O método dos precursores poliméricos foi empregado na preparação de um revestimento a base de Nióbio para a proteção contra corrosão do aço carbono (SAE 1020). O revestimento foi aplicado sobre o substrato

metálico por imersão durante 15 minutos numa resina contendo nióbio e obtida pelo método Pechini. Após a amostra foi calcinada em forno mufla, a 450°C durante 1 hora. As placas revestidas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e polarização potenciodinâmica anódica (PPA) e catódica (PPC). Os resultados de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), polarização potenciodinâmica anódica (PPA) e catódica (PPC) mostraram que a aplicação do revestimento ao aço carbono aumentou a resistência à corrosão do metal base. Os resultados das análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) mostraram que o revestimento é homogêneo, e não possui heterogeneidades como trincas em sua morfologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método *Pechini*, Pré – Tratamento, Espectroscopia de Impedância Eletroquímica.

**ABSTRACT:** The polymer precursor method was employed in the preparation of a Niobium based coating for carbon steel (SAE 1020) corrosion protection. The coating was applied to the metal substrate by immersion for 15 minutes on a resin containing niobium and obtained by the Pechini method. After the sample was

calcined in a muffle oven at 450 ° C for 1 hour. The coated plates were characterized by scanning electron microscopy (SEM), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and anodic potentiodynamic polarization (PPA) and cathodic (PPC). The results of electrochemical impedance spectroscopy (EIS), anodic potentiodynamic polarization (PPA) and cathodic (PPC) showed that the application of the coating to the carbon steel increased the corrosion resistance of the base metal. The results of scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) showed that the coating is homogeneous, and has no heterogeneities such as cracks in its morphology.

**KEYWORDS:** Pechini Method, Pre - Treatment, Electrochemical Impedance Spectroscopy

## 1 | INTRODUÇÃO

Componentes de máquinas e peças metálicas são submetidas a ambientes corrosivos como meios com alta concentração de sais e condições de grande desgaste, necessitam de uma alta resistência à corrosão (CASTILLEJO et al., 2014). Entre os materiais metálicos mais utilizados está o aço carbono que é constituído de uma liga de ferro e carbono, amplamente empregada na produção de peças e máquinas de diversos setores industriais, como na produção de automóveis e eletrodomésticos (VIOMAR et al., 2004; GENTIL, 2011). Este metal possui uma baixa resistência à corrosão e é submetido a processos de tratamento de superfície antes de ser utilizado (VIOMAR et al., 2004; ANNIES et al., 2010).

Dentre os principais métodos de tratamento de superfície do aço carbono, está a fosfatização (OLIVEIRA; SANTANA, 2013). Este método consiste na deposição química de uma camada de fosfatos na superfície metálica, sendo estes fosfatos responsáveis por inibir os processos corrosivos (VIOMAR et al., 2004; ANNIES et al., 2010; RODRIGUES et al., 2014). Apesar de ser um revestimento amplamente utilizado, este gera um grande problema ambiental devido ao lodo tóxico resultante. Além disso, utiliza o íon  $Ni^{2+}$  como aditivo, que é extremamente alergênico (VIOMAR et al., 2004; OLIVEIRA; SANTANA, 2013). Considerando o grande impacto ambiental gerado pelos banhos fosfatizantes e a necessidade de proteção dos materiais contra a corrosão, o estudo de novos métodos de proteção é de extrema importância.

Revestimentos protetores constituídos de nióbio vêm sendo amplamente estudados como protetores contra a corrosão de diversos materiais metálicos (LOPES et al., 2015) devido a sua elevada resistência e biocompatibilidade (OLIVARES-NAVARRETE et al., 2011; RINCON. A, ORJUELA.G; OLAYA, 2014; ANTUNES REIS et al., 2015).

A biocompatibilidade dos materiais constituídos de nióbio foi estudada pela deposição de filmes finos sobre implantes dentários de aço inoxidável. (OLIVARES-NAVARRETE et al., 2011) Segundo o estudo o revestimento de nióbio melhorou a

biocompatibilidade e estendeu a vida útil dos implantes dentários.

A resistência contra a corrosão promovida por um revestimento a base de NbC sobre o aço AISI 1045 foi avaliada por alguns pesquisadores. (RINCON.A, ORJUELA.G; OLAYA, 2014) Os resultados indicaram que a presença do NbC melhorou a resistência à corrosão do substrato.

O uso de revestimentos de nióbio sobre aço carbono 1010 também foi estudado (ANTUNES REIS et al., 2015). Segundo o estudo o revestimento promoveu a proteção do aço carbono contra os processos corrosivos.

Revestimentos de NbC aplicado sobre o aço AISI 52100 foi utilizado em rolamentos de máquinas. Este revestimento aumentou a resistência à corrosão do material além de aumentar a resistência mecânica do metal (FERNANDES et al., 2015).

Dentre os vários métodos de obtenção de revestimentos a base de nióbio está o método *Pechini* ou método dos precursores poliméricos (ANTUNES REIS et al., 2015). Esse método consiste na utilização de um ácido orgânico dicarboxílico para formação de um quelato com um cátion metálico. Ao quelato adiciona-se um poliálcool e, por via de reação de condensação, se obtém um poliéster. Em uma segunda etapa, é feito um tratamento térmico para eliminar a fase orgânica, obtendo-se assim o produto desejado. As vantagens desse método são a possibilidade de proporcionar uma boa homogeneidade química dos componentes em escala molecular, controle direto e preciso da estequiometria em sistemas complexos (TEREZO; PEREIRA, 2000; FREITAS et al., 2006; TUSSOLINI et al., 2014; LOPES et al., 2015). Além disso, é um processo rápido, e possui um custo relativamente baixo (ANTUNES REIS et al., 2015).

As diferentes etapas realizadas até a obtenção da resina e a proporção molar dos reagentes utilizados influenciam diretamente na morfologia do revestimento formado e, conseqüentemente na sua aplicação (GALCERAN et al., 2007; TUSSOLINI et al., 2014).

Camadas de óxido de nióbio foram depositadas sobre a liga de alumínio 3003 e os melhores resultados foram obtidos utilizando razões molares ácido cítrico:etileno glicol 1:4, e entre o ácido cítrico:nióbio 10:1. Os autores constataram também, que a melhor temperatura de queima para a formação do revestimento é 450°C, e os melhores tempos de deposição e escorrimento da solução foram 15 e 5 minutos, respectivamente (TUSSOLINI et al., 2014).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi preparar e caracterizar um revestimento a base de nióbio obtido pelo método *Pechini*, para a proteção contra corrosão do aço-carbono (SAE 1020).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação das placas de aço carbono (SAE 1020)

Para remoção de sujidades e óxidos da superfície das placas e promoção da aderência do revestimento ao substrato, a superfície das placas foi preparada utilizando lixas de carbo de silício com granulometrias #220, #320, #400, #600 e #1200 respectivamente. Após o processo de lixamento as placas foram lavadas com água destilada para retirada de quaisquer impurezas residuais, e secas com jato de ar frio.

### 2.2 Preparação da resina pelo método *Pechini*

A resina para o revestimento das placas de aço carbono foi preparada pelo método *Pechini*, utilizando os seguintes materiais: etileno glicol (99,99%, Aldrich), ácido cítrico (99,999%, Aldrich), complexo amoniacal de nióbio (CBMM, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) em uma proporção molar de 4 mols de etileno glicol, 1 mol de ácido cítrico e 0,1 mol de nióbio.

Inicialmente aqueceu-se o etileno glicol até uma temperatura de 60 °C. Adicionou-se sob agitação magnética, o ácido cítrico, após sua completa dissolução, foi adicionado o complexo amoniacal de nióbio. A mistura permaneceu sob agitação magnética e temperatura de 60 °C durante uma hora para completa reação de poliesterificação.

### 2.3 Revestimento das placas

O revestimento das placas foi feito por imersão das mesmas na resina, sem controle de velocidade. Após a imersão de 15 minutos, as peças permaneceram em repouso fora da resina por 5 minutos para escoamento do excesso de material. O filme de nióbio foi obtido por calcinação das placas em forno mufla a 450°C durante 1 hora.

### 2.4 Caracterização eletroquímica

As placas com e sem revestimento foram analisadas pelas técnicas de (1) Espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), realizada potenciostaticamente no potencial de circuito aberto, com uma amplitude de perturbação de  $\pm 10$  mV, na faixa de frequência de 10 KHz a 10 mHz, usando 10 pontos por década de aquisição de dados, (2) polarizações potenciodinâmica catódica (PPC) e anódica (PPA) que foram realizadas a partir do potencial de corrosão até sobretensões de  $\pm 500$  mV, utilizando potenciostato PC4-300/EIS300 Gamry. Para os ensaios eletroquímicos foi utilizada uma célula de três eletrodos usando: platina como contra-eletródo, eletródo de Ag/AgCl com KCl saturado, como referência, e as placas de aço carbono medindo 0,785 cm<sup>2</sup> como eletródo de trabalho. A solução eletrolítica empregada nos ensaios foi NaCl 0,5 molL<sup>-1</sup>. Todos os ensaios eletroquímicos foram conduzidos à temperatura de (20  $\pm$

2) °C, e realizados em triplicata.

## 2.5 Caracterização Morfológica

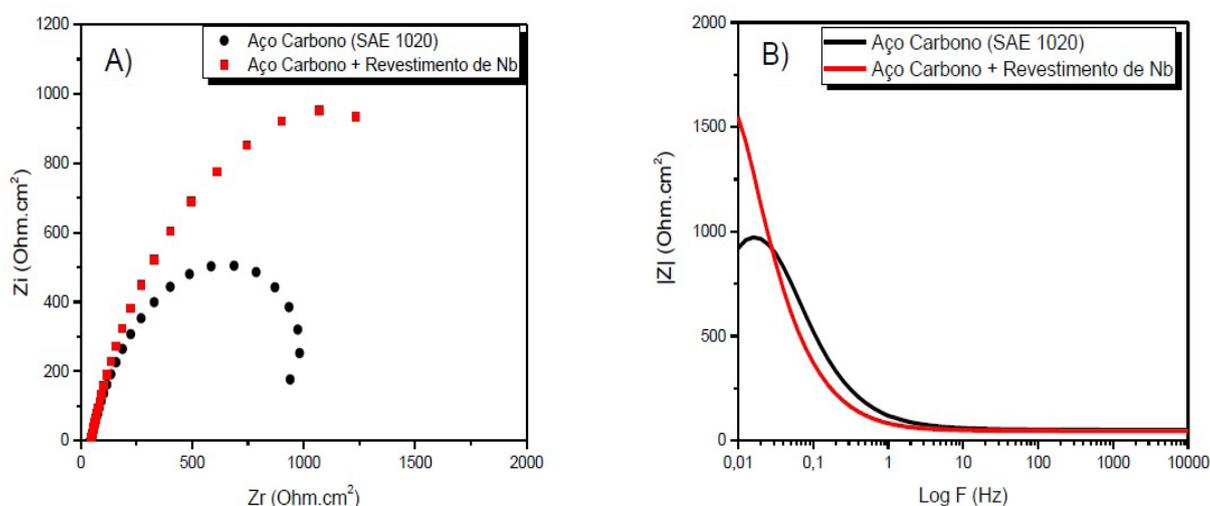
O revestimento foi caracterizado utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com aumento de 500, 1500 e 5000 vezes. A composição elementar do revestimento de nióbio foi analisada pela técnica de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), juntamente com a técnica (MEV) no equipamento Tescan® Vega3.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

Os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica foram realizados após a estabilização do potencial de circuito aberto em solução de NaCl 0,5 molL<sup>-1</sup> e os resultados são apresentados na Figura 1 na forma de diagramas de Nyquist, e de módulo de impedância.

A Figura 1(A) mostra apenas um arco capacitivo com maiores valores de impedância medidos para a amostra revestida, sugerindo maior resistência à corrosão para este sistema.

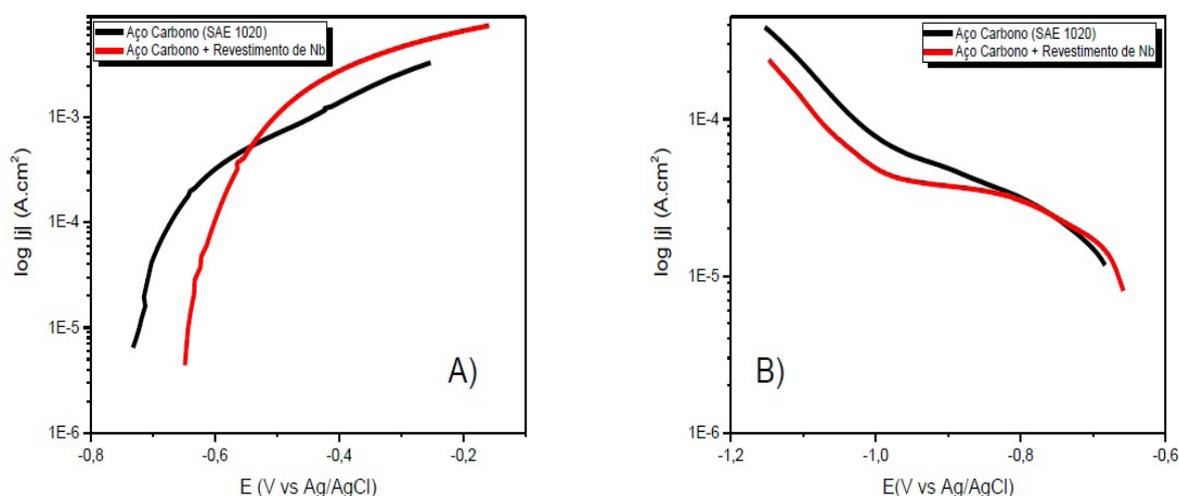


**Figura 1:** Diagramas de Nyquist (A) e módulo de impedância (B), obtidos em NaCl 0,5 molL<sup>-1</sup> para o aço carbono (SAE 1020) não revestido e revestido.

O diagrama de módulo de impedância, apresentado na Figura 1(B), mostra um aumento no valor do módulo de impedância  $|Z|$  para a amostra revestida. Os maiores valores de  $|Z|$  sugerem uma maior resistência à corrosão para o aço carbono revestido com nióbio (WOLYNEC, 2003).

### 3.2 Polarização Potenciodinâmica Anódica e Catódica

As curvas de polarização potenciodinâmica anódica e catódica, com e sem o revestimento de nióbio, são apresentadas na Figura 2, e foram obtidas em meio de NaCl 0,5 molL<sup>-1</sup>.



**Figura 2:** Curvas de polarização potenciodinâmica anódica (A) e catódica (B), obtidas em NaCl 0,5 molL<sup>-1</sup> das amostras de aço carbono (SAE 1020) não revestido e revestido com as resinas.

Em toda a região de sobrepotencial estudada, foi observado comportamento tipicamente ativo para a amostra revestida (figura 2A). Em baixas sobretensões, a densidade de corrente anódica, para a amostra revestida foi menor do que para o aço sem revestimento devido à proteção promovida pela camada de nióbio.

Um deslocamento do potencial de corrosão, para valores mais positivos, pôde ser observado para a amostra revestida, indicando uma maior nobreza superficial. Tal resultado está de acordo com os resultados de potencial de circuito aberto, nos quais, o mesmo deslocamento foi determinado.

Menor valor de densidade de corrente foi medida, para a amostra revestida, quando a polarização foi realizada no sentido catódico. Pode ser observado a presença de uma densidade de corrente limite  $j_L$ , para as amostras até a sobretensão limite de  $\eta_L$  de -1,0 V. A densidade de corrente limite está relacionada com a reação de redução de oxigênio que é controlada por processo de difusão. A diminuição de  $j_L$  na presença do revestimento pode estar relacionada a barreira física promovida pela camada de nióbio.

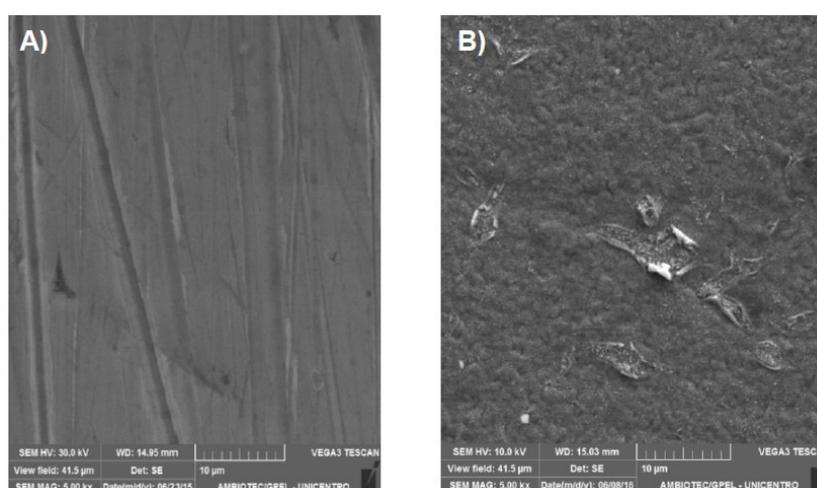
A partir de  $\eta_L$  observa-se uma variação na densidade de corrente. Para a amostra revestida a menor taxa foi determinada a partir de  $\eta_L$  sugerindo uma estabilidade desta camada, pois na região catódica pode haver a redução do óxido presente na superfície do eletrodo, desta forma, quanto menor a densidade de corrente maior é a estabilidade

do óxido de nióbio depositado.

### 3.4 Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva

A análise morfológica das amostras de aço carbono não revestido e revestido foi realizada por microscopia eletrônica de varredura e os resultados estão apresentados nas micrografias da Figura 3.

Nas micrografias da Figura 3 nota-se uma mudança considerável na morfologia superficial do aço quando o mesmo foi revestido com as resinas. Além disso, é possível verificar que o revestimento obtido apresenta pequenas partículas esféricas aglomeradas. Estrutura semelhante foi obtida nos trabalhos de (BRANDOLT et al., 2014). É possível verificar que o substrato revestido apresentou grande homogeneidade do filme de nióbio.



**Figura 3:** Micrografias, obtidas por MEV, da superfície do aço carbono (SAE 1020) sem revestimento (A), revestido (B).

Para a determinação da composição elementar do revestimento de nióbio preparado, as placas com e sem revestimento foram analisadas utilizando a técnica de espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Amostra	Elemento (% m/m)			
	Carbono	Oxigenio	Ferro	Nióbio
Aço Carbono (SAE 1020)	4,59	0	95,12	0
Aço carbono + Revestimento de Nb	2,00	21,45	66,02	10,53

**Tabela 1:** Análise química elementar das placas de aço carbono (SAE 1020) com e sem revestimento.

Verifica-se na Tabela 1 a presença dos elementos que fazem parte da composição

da liga de aço carbono (SAE 1020), pode-se observar que após a cobertura do metal houve uma diminuição na quantidade destes elementos. Esta diminuição está relacionada à formação do revestimento na superfície do metal base.

Adicionalmente, observa-se para o sistema revestido a presença dos elementos nióbio, carbono e oxigênio. O elemento nióbio é justificado pela presença do complexo de nióbio na resina que é o precursor para o filme protetor de nióbio, o que também explica a presença de oxigênio. A explicação para a presença do elemento carbono está relacionada a queima incompleta da fração orgânica da resina na etapa de calcinação.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados eletroquímicos demonstraram que a camada de nióbio protege o aço carbono (SAE 1020), pois potenciais mais positivos, impedâncias maiores e menores densidades de corrente foram obtidos para o sistema revestido.

Os resultados de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva, comprovam a presença do elemento nióbio na superfície do metal recoberto. Além disso, foi possível verificar que o revestimento obtido é homogêneo e possui poucos defeitos.

Os resultados sugerem que o revestimento de nióbio pode ser utilizado para proteção da corrosão do aço carbono (SAE 1020).

## REFERÊNCIAS

ANNIES, V.; COSTA, I.; TERADA, M.; RODRIGUES, P. R. P.; BANCZEK, E. P. **Study of Benzotriazole as Additive for Carbon Steel Phosphating**. *Portugaliae Electrochimica Acta*, v. 28, n. 5, p. 279–298, 2010.

ANTUNES REIS, O.; VIOMAR, A.; SCHLINDWEIN, C.; RODRIGUES, P. R. P.; BANCZEK, E. D. P. **O uso de precursores poliméricos para a obtenção de pré-tratamento contendo nióbio**. *Encontro e Exposição Brasileira de tratamento de superfície*. São Paulo . p.23–31, 2015.

BRANDOLT, C. D. S.; JUNIOR, J. G. DE S.; KUNST, S. R.; et al. **Niobium and Niobium-iron Coatings on API 5LX 70 Steel Applied with HVOF**. *Materials Research*, v. 17, n. 4, p. 1–12, 2014.

CASTILLEJO, F. E.; MARULANDA, D. M.; OLAYA, J. J.; ALFONSO, J. E. **Wear and corrosion resistance of niobium-chromium carbide coatings on AISI D2 produced through TRD**. *Surface and Coatings Technology*, v. 254, p. 104–111, 2014.

FERNANDES, F. A. P.; GALLEGO, J.; PICON, C. A.; TREMILIOSI FILHO, G.; CASTELETTI, L. C. **Wear and corrosion of niobium carbide coated AISI 52100 bearing steel**. *Surface and Coatings Technology*, v. 279, p. 112–117, 2015.

FREITAS, R. G.; OLIVEIRA, R. T. S.; SANTOS, M. C.; BULHÕES, L. O. S.; PEREIRA, E. C. **Preparation of Pt thin film electrodes using the Pechini method**. *Materials Letters*, v. 60, n. 15, p. 1906–1910, 2006.

GALCERAN, M.; PUJOL, M. C.; AGUIL, M.; DAMAZ, F. Sol-gel modified Pechini method for obtaining

nanocrystalline KRE(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (RE = Gd and Yb). **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 79–88, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**, 6edição. 2011.

LOPES, O. F.; MENDONÇA, V. R. DE; SILVA, F. B. F.; PARIS, E. C.; RIBEIRO, C. Óxidos de nióbio: **Uma visão sobre a síntese do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e sua aplicação em fotocatalise heterogênea**. Química Nova, v. 38, n. 1, p. 106–117, 2015.

OLIVARES-NAVARRETE, R.; OLAYA, J. J.; RAMÍREZ, C. **Biocompatibility of Niobium Coatings**. Coatings, p. 72–87, 2011.

OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, H. DE. **Estudo comparativo da fosfatização inorgânica e orgânica do aço carbono 1008 quanto à resistência a corrosão**. Revista Materia, v. 18, p. 1395–1409, 2013.

RINCON.A, ORJUELA.G, R.; OLAYA, J. J. **Corrosion resistance of niobium carbide coatings produced on AISI 1045 steel via thermo-reactive diffusion deposition**. Surface and Coatings Technology, v. 259, n. PC, p. 667–675, 2014.

RODRIGUES, P. R. P.; TERADA, M.; JUNIOR, O. R. A.; et al. **Niobium pentoxide coating replacing zinc phosphate coating**. Revista Materia, v. 19, n. 2, p. 105–116, 2014.

TEREZO, A. J.; PEREIRA, E. C. **Fractional factorial design applied to investigate properties of Ti/IrO<sub>2</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> electrodes**. Electrochimica Acta, v. 45, n. 25–26, p. 4351–4358, 2000.

TUSSOLINI, M.; ICHIKAWA, T.; GALLINA, A. L.; et al. **Planejamento experimental no estudo eletroquímico de camadas de óxido de nióbio em liga de alumínio 3003 ( Experimental design for electrochemistry study of niobium oxide layers )**. Cerâmica, v. 60, p. 417–424, 2014.

VIOMAR, A.; VANJURA, B.; GRASSI, M.; OLIVEIRA, M. D. F.; ROGÉRIO, P. **Aperfeiçoamento do processo de tratamento de superfície do aço carbono**. Encontro e Exposição Brasileira de tratamento de suferfície.São Paulo. p.205–213, 2004.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em corrosão**. 2003.

## **SOBRE A ORGANIZADORA:**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-63-5

