

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-551-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.515210610>

1. Engenharia de Materiais. 2. Metalúrgica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título. CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, principalmente quando se diz a indústria 4.0, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Para obtenção desses novos materiais, muitos processos precisaram de alterações e de novos métodos, exigindo um desprendimento de força elevado nesta área. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura a todos.


Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

STRESS-CRACKING: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DOS ÚLTIMOS 21 ANOS DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS


Vinícius Pereira Bacurau
Ana Larissa Soares Cruz
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Ermeson David dos Santos Silva
Thalia Delmondes de Souza
Leonardo Alves Pinto
Edvânia Trajano Teófilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106101>

CAPÍTULO 2..... 18

ESTUDO DA INFLUENCIA DA ADIÇÃO DO WC NANOESTRUTURADO NAS PROPRIEDADES DO AÇO MA957


Kívia Fabiana Galvão de Araújo
Maria José Santos Lima
Fernando Erick Santos da Silva
Cléber da Silva Lourenço
Uilame Umbelino Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106102>

CAPÍTULO 3..... 30

CARACTERIZAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E DEFORMADOS POR DIFERENTES PROCESSOS DA ÁREA NUCLEAR


Jamil Martins Guimarães Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106103>

CAPÍTULO 4..... 38

TRÊS MÉTODOS PARA MELHORAR AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGAS DE ALUMÍNIO


Juan José Arenas Romero
Jesús García Lira
Martín Castillo Sánchez



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106104>

CAPÍTULO 5..... 45

IMPACT OF ZINC CONCENTRATION AND pH IN THE ELECTROPLATING PROCESS IN AN ACID SULFATE-BASED SOLUTION

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Pedro Manoel Silveira Campos
Tácia Costa Veloso
Vera Rosa Capelossi


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106105>

CAPÍTULO 6	56
INSPEÇÃO ATRAVÉS DO ENSAIO VISUAL	
Marta Alves Marques	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106106	
CAPÍTULO 7	78
RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL: UMA ABORDAGEM SOBRE ARTIGOS CIENTÍFICOS E POLÍTICAS NACIONAIS NO ÚLTIMO QUINQUÊNIO	
Mariana Cordeiro Magalhães	
Fernanda Nadier Cavalcanti Reis	
Peolla Paula Stein	
Tatiane Benvenuti	
Tácia Costa Veloso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106107	
CAPÍTULO 8	84
PRODUÇÃO DE JANELAS INTELIGENTES BASEADAS EM POLÍMEROS NATURAIS	
Márcio Roberto da Silva Oliveira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106108	
CAPÍTULO 9	94
BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO ESTRUTURAL COMO SISTEMA CONSTRUTIVO	
Gabriela Santos Pereira Lopes de Barros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106109	
CAPÍTULO 10	106
ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDA DE CAPEAMENTO NO CONCRETO ESTRUTURAL – UMA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	
Myrelle Pinheiro e Silva	
Maria Letícia Ferreira da Silva	
Daniele Gomes Carvalho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061010	
CAPÍTULO 11	132
AVALIAÇÃO DA BORRACHA NATURAL EPOXIDADA COMO UM POSSÍVEL MATERIAL AUTORREPARÁVEL	
Duane da Silva Moraes	
Helena Mesquita Biz	
Tatiana Louise Avila de Campos Rocha	
Cristiane Krause Santin	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061011	

CAPÍTULO 12..... 149

LAJOTAS DE PISO TÁTIL PREPARADAS COM ADIÇÃO DE *FLAKES* DE POLIESTIRENO RECICLADO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA


Debora Scopel
Mateus Vosgnach
Vinicio Ceconello
Ana Maria Coulon Grisa
Edson L. Francischetti
Mara Zeni Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061012>

CAPÍTULO 13..... 159

ADSORCION DE XANTATO ISOPROPILICO DE SODIO EN LA GALENA


Claudia Veronica Reyes Guzman
Leonor Muñoz Ramírez
Sergio García Villarreal
Gloria Guadalupe Treviño Vera
Aglae Davalos Sánchez
Gema Trinidad Ramos Escobedo
Manuel García Yregoi
Evelyn Rodríguez Reyna
Samuel Chacón de la Rosa
Luis Rey García Canales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061013>

CAPÍTULO 14..... 170

ADSORCION DE CIANURO EN CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE TAMARINDO

Claudia Veronica Reyes Guzmán
Leonor Muñoz Ramírez
Sergio García Villarreal
Gloria Guadalupe Treviño Vera
Aglae Davalos Sánchez
Gema Trinidad Ramos Escobedo
María Gloria Rosales Sosa
Evelyn Rodríguez Reyna
Samuel Chacón de la Rosa
Luis Enrique Barajas Castillo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061014>

CAPÍTULO 15..... 180

DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS DE QUITOSANA/GELATINA/FÁRMACO PARA REGENERAÇÃO DA SUPERFÍCIE OCULAR

Amanda Eliza Goulart Gadelha
Wladýmjr Jéfferson Bacalhau Sousa
Albaniza Alves Tavares
Rossembérg Cardoso Barbosa
Maria Dennise Medeiros Macêdo

Thiago Cajú Pedrosa
Ana Caroline Santana de Azevedo
Fernando Melo Gadelha
Kleilton Oliveira Santos
Marcus Vinícius Lia Fook

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061015>

CAPÍTULO 16..... 194

META-ARAMIDAS: DE UMA PERSPECTIVA DE PROTEÇÃO PESSOAL A UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL


Natália de Oliveira Fonseca
Íris Oliveira da Silva
Francisco Claudivan da Silva
Késia Karina de Oliveira Souto Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061016>

CAPÍTULO 17..... 205

USINAS TERMELÉTRICAS E A SIDERURGIA

Késsia de Almeida Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061017>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 209

ÍNDICE REMISSIVO..... 210

IMPACT OF ZINC CONCENTRATION AND PH IN THE ELECTROPLATING PROCESS IN AN ACID SULFATE-BASED SOLUTION

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 09/07/2021

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves

State University of Santa Cruz
Ilhéus – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/7024935986388318>

Pedro Manoel Silveira Campos

Federal University of Southern Bahia
Itabuna – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/8881500083854185>

Tácia Costa Veloso

Federal University of Southern Bahia
Itabuna – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/2420026949442774>

Vera Rosa Capelossi

State University of Santa Cruz
Ilhéus – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/0713486577039303>

ABSTRACT: The steels have good mechanical properties and an interesting cost-benefit ratio, but they are highly susceptible to corrosion degradation. One of the largest used corrosion protection techniques is the metallic coatings, such as the electrodeposition of zinc ions on steel in a process known as electroplating. Many factors can affect the efficiency of the process, the deposit quality, and, consequently, the mechanical and corrosion resistance, such as zinc concentration, pH, temperature, and even the presence of contaminants in the electrolyte

bath. Therefore, this work evaluated the current efficiency and the morphological modifications by optical microscopy (OM) of the electroplated steel varying independently the zinc concentration and pH in an acid sulfate-based solution. No significant variation was observed at the current efficiency by increasing the zinc concentration or pH. The current efficiency in all conditions evaluated reached values over 90 %, which allows us to classify the process as efficient varying both operational conditions in the range studied. The sample electroplated at initial pH 2.5 presented the greatest homogeneity and regularity of the surface morphology by OM analysis. The lowest zinc concentration evaluated (40 g.L^{-1}) appeared to have greater roughness, while the others samples had similar morphology. Such behavior suggests that the increase in zinc concentration improved the homogeneity of the deposit until 50 g.L^{-1} , while pH 2.5 showed a better appearance. Therefore, under the conditions evaluated, we recommend the use of 50 g.L^{-1} at a pH of 2.5.

KEYWORDS: Metallic coating, Electroplating, Operational parameter, Current efficiency, Coating morphology.

IMPACTO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO E PH NO PROCESSO DE ELETROGALVANIZAÇÃO ÁCIDA EM MEIO SULFATO

RESUMO: Apesar de suas boas propriedades mecânicas e sua relação custo-benefício, o aço apresenta grande susceptibilidade à degradação por meio da corrosão. Dentre as técnicas utilizadas para a proteção dessas estruturas, pode-se citar o emprego de revestimentos metálicos como

a eletrodeposição do zinco sobre o aço, em processo denominado eletro galvanização. No entanto, o processo é bastante sensível a diversos fatores operacionais e de banho que podem afetar a eficiência do processo, a qualidade do depósito e, conseqüentemente, a resistência mecânica e à corrosão do material final, como a concentração de zinco, o pH, a temperatura e até mesmo a presença de contaminantes. Portanto, o presente trabalho avaliou a eficiência de corrente e as modificações morfológicas do revestimento por meio da Microscopia Ótica (MO) do aço eletro galvanizado variando a concentração de zinco e o pH do eletrólito, independentemente, em meio ácido contendo sulfato. Não foi observada variação significativa nos valores de eficiência de corrente com o aumento tanto da concentração de zinco quanto com o aumento do pH do eletrólito. A eficiência de corrente em todas as condições avaliadas manteve-se superior a 90 %, permitindo a classificação do processo como sendo eficiente. A amostra eletro galvanizada no pH 2,5 apresentou maior homogeneidade e regularidade na morfologia superficial do revestimento, conforme evidenciado pelas análises via MO. Enquanto que a menor concentração de zinco avaliada (40 g.L^{-1}) aparentou ter maior rugosidade, quando comparada com as demais amostras em outras concentrações. Este comportamento sugere que o aumento da concentração de zinco melhorou a homogeneidade do depósito até a concentração de 50 g.L^{-1} , enquanto o pH 2,5 apresentou melhor aspecto visual. Portanto, com base nas condições avaliadas, recomenda-se o uso de 50 g.L^{-1} de zinco e pH de 2,5.

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento metálico, Eletro galvanização, Parâmetros operacionais, Eficiência de corrente, Morfologia do revestimento.

1 | INTRODUCTION

Carbon steel is one of the most used metal alloys today due to its high cost/benefit ratio. They are mostly constituted of iron with small quantities of carbon located interstitially, as well as some impurities are also present, such as manganese. Despite their good mechanical and thermal conductivity properties, in general, carbon steels are susceptible to corrosion deterioration, which limits their use (ASKELAND; WRIGHT, 2016). Due to this characteristic and aiming to increase the useful lifetime of the material, many techniques are widely used to improve the corrosion resistance or even inhibit it at relatively low rates (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Although zinc has a more negative reduction potential than iron, they generally have a lower corrosion rate when compared to steel. Furthermore, as the corrosion rate of Zn is relatively low, the corrosion protection that this coating provides is considerably long. Such characteristics turn zinc a prominent candidate to be used as a metallic coating in the cathodic protection of steel (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

The zinc coating has been used to protect against corrosion for over 170 years. Currently, several techniques can be used to protect metallic alloys that are zinc-based, such as thermal spraying or metallization, sherardization, and even the painting with zinc-enriched paint (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010). However, most techniques used in the metallurgy are based on the hot-dip galvanization or the electrodeposition of zinc in a

process known as zinc electroplating (ALVARENGA; LINS, 2016; MAJUSTE et al., 2015).

Zinc electroplating is a process based on the reduction of the zinc ions present in the electrolyte on the substrate surface, which in this case is steel (MAJUSTE et al., 2015). The process is not spontaneous, so, the current is provided from an external power supply (ALVARENGA; LINS, 2016; SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Until the 70s, most zinc electroplating processes consisted of cyanide-based baths. However, due to new regulations, this kind of bath has been gradually replaced by others with less toxicity. Currently, acid baths are particularly prominent owing to less electroplating time, good deposit quality, and higher process versatility. These baths are commonly employed in the coating of plates, tubes, and wires (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Several factors in the zinc electroplating process can affect negatively the current efficiency, the deposit quality, and, consequently, the mechanical and corrosion resistance of the material. As reported in the literature (KUL et al., 2020; ALMEIDA et al., 2019; PAN et al., 2013; SCOTT et al., 1988), the zinc concentration, pH, current density, and temperature for example impacted the process efficiency and the coating morphology, modifying the crystal structure and the geometry of the grains.

The metal ions are presented in the aquo-cation complex when dissolved in an aqueous solution, as the electroplating bath. The aquo-cations lose their solvation form when approaching the substrate surface and by a diffusion process, they migrate until a favorable site was found. Finally, they adsorb in the surface, incorporating into the metallic network after losing all binders (SHREIR; JARMAN; BURSTEIN, 2000). Then, the zinc deposits begin to grow epitaxially in layers over the substrate (NAKANO, 2009).

Therefore, this work aims to evaluate the current efficiency and surface morphology by optical microscopy (OM) of AISI 1008 steel electroplated in an acid sulfate-based solution varying the zinc concentration and pH independently.

2 | EXPERIMENTAL

An electrolytic cell was used for zinc electroplating. The electroplating system consisted of three plates (Figure 1), being one cathode (AISI 1008 carbon steel) between two anodes (lead). The samples were fixed with an anode/cathode distance of 10 mm and they had fixed dimensions of 50 x 70 mm². The current was supplied by an external power supply connected in series with a multimeter (Instrutherm, MD-700). This setup characterizes this process as galvanostatic electroplating.

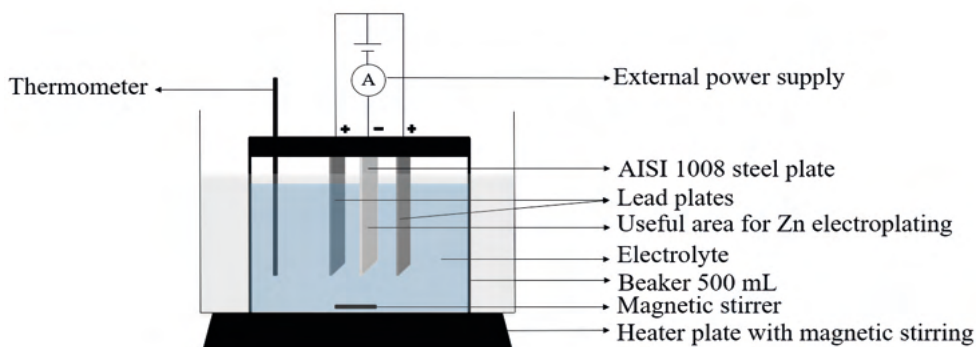


Figure 1 – Schematic representation of the electrolytic cell employed in the zinc electroplating process, consisting of a cathode (AISI 1008 steel plate), two anodes (lead plates), the electrolytic bath, and an external power supply (A).

The electrolyte consisted of H_2SO_4 and Na_2SO_4 (50 g.L^{-1}), varying the zinc concentration (40 g.L^{-1} , 50 g.L^{-1} , and 60 g.L^{-1}), and the initial pH (1.5, 2.5, and 3.5), as summarized in Table 1. The cell temperature was controlled by a water bath at $50 \text{ }^\circ\text{C}$ under magnetic stirring of 380 rpm.

	<i>Zinc concentration variation</i>	<i>pH variation</i>
Zn^{2+} (g.L^{-1})	40, 50, and 60	50
Na_2SO_4 (g.L^{-1})	50	50
pH	2.5	1.5, 2.5, and 3.5
Cathode	AISI 1008 carbon steel	AISI 1008 carbon steel
Anode	Lead plates	Lead plates
i (mA.cm^{-2})	30.5	30.5
T ($^\circ\text{C}$)	50	50
t (min)	20	20
Stirrer (rpm)	380	380

Table 1 – Operational parameters used in the zinc electroplating bath to each condition evaluated.

The sample surface was treated before the electroplating process (Figure 2). The sample primarily was completely immersed in acetone for 10 min in an ultrasonic bath (LS-3D, LimpSonic, 40 kHz/70W). Then, the sample was immersed in an alkaline degreaser (50 g.L^{-1} , 680 RM, Saloclean) under magnetic stirring of 380 rpm at $50 \text{ }^\circ\text{C}$ for 10 min, and finally,

the substrate was quickly dipped in H_2SO_4 (3 M) etching solution for 10 s.

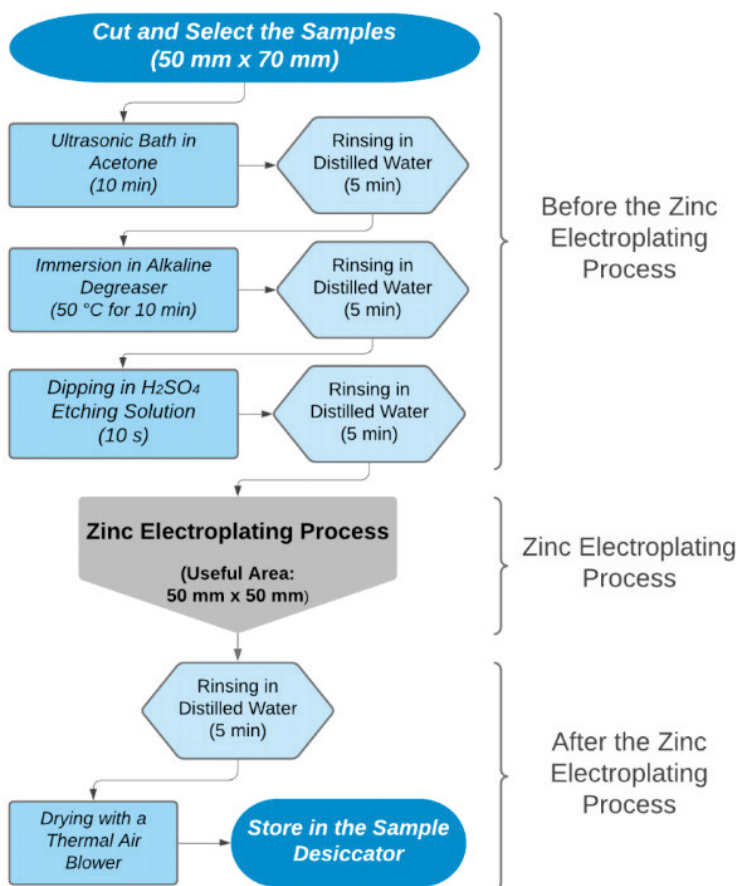


Figure 2 – Flowchart containing the step-by-step process to treat and store the samples.

After each washing step described, the samples were rinsed in distilled water for 5 min. At the end of the electroplated process, the samples were also rinsed in distilled water for 5 min and then dried immediately by thermal air blower.

The current efficiency, e_c , was calculated by Equation 1, where w_{EP} and w_T are respectively the electroplated zinc weight and the theoretical zinc weight. The w_T is determined by Faraday Electrolysis Law, where M is the zinc atomic weight ($65.38 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$); I is the current (A); t is the electroplating time (s); n is the zinc valency ($n = 2$); and F is the Faraday constant ($F = 96485.33 \text{ s}\cdot\text{A}\cdot\text{mol}^{-1}$).

$$e_c = \frac{w_{EP}}{w_T} \cdot 10^2 = \frac{w_{EP} \cdot n \cdot F}{M \cdot I \cdot t} \cdot 10^2 \quad \text{Equation 1}$$

The surface morphology analysis was performed through optical microscopy (S9, Leica).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Current efficiency analysis

The process efficiencies were evaluated by the current efficiencies, e_c , which were calculated by Equation 1, and they are presented in Table 2. Varying both operational conditions in the range studied did not impact significantly the current efficiency when we analyze the standard deviation. The current efficiency in all conditions evaluated reached values over 90 %, which allows us to classify the process as efficient, as expected for processes carried out in an acid solution (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

		$(e_c \pm \sigma_{e_c}) \%$
$(Zn^{2+}) \text{ g.L}^{-1}$	40	94 ± 1
	50	95 ± 1
	60	95 ± 2
pH	1.5	97 ± 2
	2.5	95 ± 1
	3.5	97 ± 3

Table 2 – Current efficiencies summarized for each condition evaluated by varying independently the zinc concentration and pH in the zinc electroplating process.

These results are consistent with those found in the literature by Scott et al. (1988). The authors observed by experimental tests that the current efficiency in an acid sulfate-based solution increases quickly by varying the zinc concentration between 20 g.L⁻¹ and 50 g.L⁻¹. However, they also observed a stagnant growth when zinc concentration reached values over 50 g.L⁻¹ (SCOTT et al., 1988).

On the other hand, pH mainly influences the conductivity of the electrolyte bath, which directly impacts the diffusion rates of the zinc ions on the cathode surface (SHREIR; JARMAN; BURSTEIN, 2000). As reported in the literature, as much lower is the pH, the greater will be both conductivity and mobility of the metals aquo-cations in the electrolyte bath. Such behavior, at first sight, would represent an increase in current efficiency (ALMEIDA et al., 2019).

The current efficiency, as already elucidated, refers to the ratio of how much a unit of current supplied to the system was effectively used to reduce the zinc ions on the cathode surface. However, the hydrogen evolution is a competitive reaction that occurs during the

zinc ions reduction. Thus, as the H^+ concentration increase by increasing the solution acidity, the equilibrium of the hydrogen evolution reaction is disturbed and compensates the effect of ions mobility (ALMEIDA et al., 2019; SCOTT et al., 1988; MACKINNON, 1985).

3.2 Surface morphology analysis

The coating properties (brightness, roughness, and corrosion resistance) are directly impacted by the zinc deposition (NAKANO, 2009). Thus, the variation in the zinc concentration promoted changes in the samples' visual appearance as shown in Figure 3, which in the highest zinc concentration evaluated presented darker deposits when compared to the others. Such modifications could be better visualized in the micrographs obtained via optical microscopy (OM), as shown in Figure 4.

A higher zinc concentration can impact the coating morphology and may reduce the operational costs of the process, once, operating at low zinc concentration in the electrolyte will imply to use a higher current density to obtain bright and homogeneously distributed deposits (MURALIDHARA; NAIK; VENKATESHA, 2006).

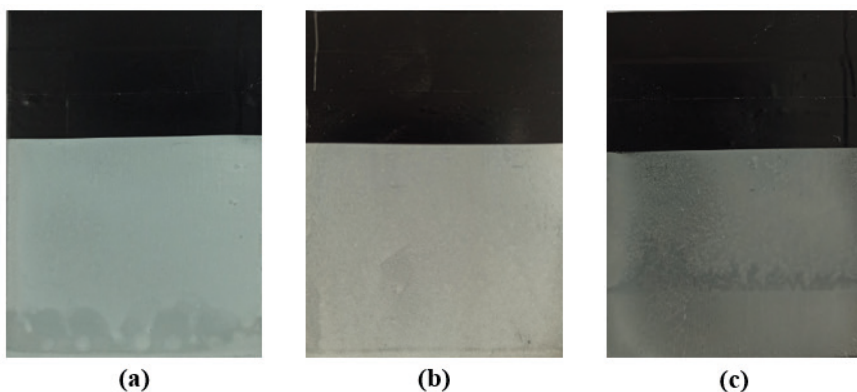


Figure 3 – Images without magnification of the samples after the electroplating process at 40 g.L⁻¹ (a), 50 g.L⁻¹ (b), and 60 g.L⁻¹ (c).

We noted through Figure 4a that the sample obtained at 40 g.L⁻¹ presented a higher roughness, while the other concentrations evaluated are morphologically similar. This suggests that the increase in the zinc concentration in the electrolyte is capable to promote a better coating homogeneity.

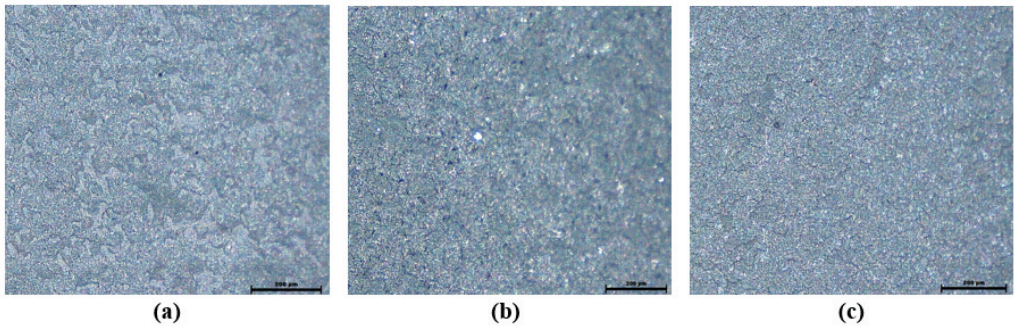


Figure 4 – Micrographs obtained by optical microscopy (OM) at 50x magnification of the samples after the electroplating process at 40 g.L⁻¹ (a), 50 g.L⁻¹ (b), and 60 g.L⁻¹ (c).

On the other hand, the variation of initial pH in the zinc electroplating process showed a slight modification in the coating by the sample's images obtained without magnification (Figure 5). However, such modifications can be easily visualized in optical microscopy (OM) micrographs shown in Figure 6.

The sample obtained in pH 1.5 presented rounded depressions as shown in Figure 6a with the apparent exposure of the substrate. The geometry of these rounded cavities suggests that the sample obtained in a low pH solution tends to favor the hydrogen evolution reaction. As result, bubbles are formed on the cathode surface (ALMEIDA et al., 2019; SCOTT et al., 1988), which may be adhered until their release towards the atmosphere.

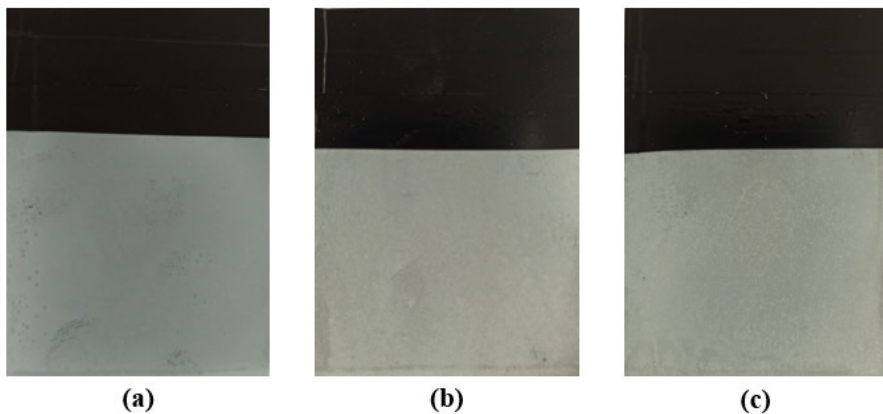


Figure 5 – Images without magnification of the samples after the electroplating process at pH = 1.5 (a), pH = 2.5 (b), and pH = 3.5 (c).

The sample obtained in pH 3.5 (Figure 6c) presented higher roughness when compared to that one obtained in pH 2.5 (Figure 6b) which appears to be more compact and with considerably less roughness. As reported in the literature, a higher irregular roughness

profile is a favorable scenario to promote corrosion deterioration (PENG et al., 2017; PARK; SZPUNAR, 1998).

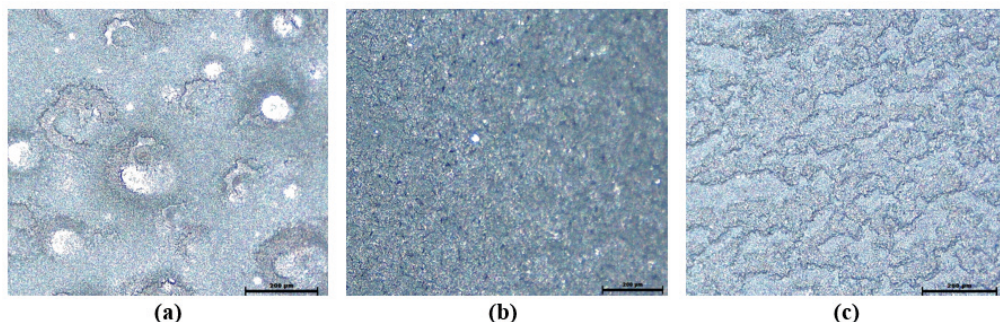


Figure 6 – Micrographs obtained by optical microscopy (OM) at 50x magnification of the samples after the electroplating process at pH = 1.5 (a), pH = 2.5 (b), and pH = 3.5 (c).

Therefore, under the conditions evaluated and through the results of the tests presented in this study, it is possible to note the best condition recommended is 50 g.L^{-1} at a pH of 2.5.

4 | CONCLUSION

The current efficiency was not significantly impacted by varying operational parameters in the range studied, reached values over 90 %, which classify the process as being efficient. The sample obtained at pH 1.5 possibly presented the substrate exposure due to a higher rate of the hydrogen evolution reaction, while the one obtained at pH 3.5 presented a higher roughness profile by OM analysis. The same was observed at the lowest zinc concentration (40 g.L^{-1}) that appeared to have greater roughness, while the others samples had similar morphology. Thus, increasing zinc concentration improved the homogeneity of the deposit until 50 g.L^{-1} , while pH 2.5 showed better performance. Therefore, under the conditions evaluated, the best zinc concentration and pH are 50 g.L^{-1} at a pH of 2.5, respectively.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge to CAPES scholarship – Brazil [Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (grant number: 88887.495176/2020-00)], and to PROPP/UESC (Pro-Rector of Research and Post-Graduation at State University of Santa Cruz) for the financial support; to Usiminas S.A. by the AISI 1008 carbon steel; to Nexa Resources S.A. by the zinc; to Klintex Industrial Resources by the alkaline degreaser; to the Center for Electron Microscopy of the State University of Santa Cruz (CME/UESC,

BA, BR) by the optical microscopy analysis; to the Environmental and Materials Laboratory and the State University of Santa Cruz (LAMMA/UESC, BA, BR) by the support, inputs, and equipment that made this work possible.

REFERENCES

ALMEIDA, M. D. DE J. et al. **Glycerol effect on the corrosion resistance and electrodeposition conditions in a zinc electroplating process.** *Materials Research*, v. 22, n. 4, 2019.

ALVARENGA, E. DE A.; LINS, V. DE F. C. **Atmospheric corrosion evaluation of electrogalvanized, hot-dip galvanized and galvanized interstitial free steels using accelerated field and cyclic tests.** *Surface and Coatings Technology*, v. 306, p. 428–438, 2016.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **The Science and Engineering of Materials.** 7th. ed. Boston, USA: CENGAGE Learning, 2016.

KUL, M. et al. **Effect of Process Parameters on the Electrodeposition of Zinc on 1010 Steel: Central Composite Design Optimization.** *International Journal of Electrochemical Science*, v. 15, p. 9779–9795, out. 2020.

MAJUSTE, D. et al. **Role of organic reagents and impurity in zinc electrowinning.** *Hydrometallurgy*, v. 152, p. 190–198, 2015.

MACKINNON, D. J. **The effect of copper on zinc electrowinning from industrial acid sulphate electrolyte.** *Journal of Applied Electrochemistry*, v. 15, p. 953–960, 1985.

MURALIDHARA, H. B.; NAIK, Y. A.; VENKATESHA, T. V. **Effect of condensation product of glycyl-glycine and furfural on electrodeposition of zinc from sulphate bath.** *Bulletin of Materials Science*, v. 29, n. 5, p. 497–503, 2006.

NAKANO, H. **Effects of plating factors on morphology and appearance of electrogalvanized steel sheets.** *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, v. 19, n. 4, p. 835–841, 2009.

PAN, J. et al. **Zinc deposition and dissolution in sulfuric acid onto a graphite-resin composite electrode as the negative electrode reactions in acidic zinc-based redox flow batteries.** *Journal of Applied Electrochemistry*, v. 43, n. 5, p. 541–551, 2013.

PARK, H.; SZPUNAR, J. A. **The role of texture and morphology in optimizing the corrosion resistance of zinc-based electrogalvanized coatings.** *Corrosion Science*, v. 40, n. 4–5, p. 525–545, 1998.

PENG, S. et al. **Surface characteristics and corrosion resistance of spangle on hot-dip galvanized coating.** *Journal of Alloys and Compounds*, v. 728, p. 1002–1008, 2017.

SCHLESINGER, M.; PAUNOVIC, M. **Modern Electroplating.** 5th Ed ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

SCOTT, A. C. et al. **Experimental determination of the factors affecting zinc electrowinning efficiency.** Journal of Applied Electrochemistry, v. 18, n. 1, p. 120–127, 1988.

SHREIR, L. L.; JARMAN, R. A.; BURSTEIN, G. T. **Corrosion: Metal/Environment Reactions.** 3rd ed ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2000.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço MA957 4, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Aços inoxidáveis 4, 30, 31, 36

Adsorción 159, 160, 162, 163, 165, 167, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178

Alumínio 4, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 95, 141

Argamassa 6, 112, 149, 150, 156, 157, 158

Austenita 30, 31, 36

Autorreparação 132, 133, 134, 136, 138, 143, 144, 145, 146, 147

B

Biomateriais 180, 181, 182

Biopolímeros 172, 181, 187

Borracha 5, 90, 106, 108, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 125, 127, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 137, 140, 147

C

Cascara 6, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178

Cianuro 6, 170, 171, 174, 175, 176, 177, 178

Combustível nuclear 30

Compressão 30, 31, 33, 36, 40, 41, 96, 106, 108, 112, 113, 119, 121, 124, 125, 128, 129, 149, 150, 151, 154, 155, 158

Concreto 5, 100, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 150, 157, 158

Conforto Humano 149

D

Deformação a Frio 38, 40, 41, 42

Desorción 160

E

Eficiência de corrente 46

Eletrocromismo 84

Eletrodeposição reversível 84, 85, 86, 87

Eletro galvanização 45, 46

ENR50 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Ensaio visual 56, 57, 58

Estudo Bibliométrico 4, 1, 2

F

Fármaco 6, 180, 181, 183, 185, 186, 187, 188, 189, 190

Ferritoscopia 30, 31, 35, 36

G

Galena 6, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169

Geotêxteis 194, 201, 202

I

Incêndios florestais 194, 195, 199, 200

L

Lajota Piso Tátil 149

Laminação 30, 31, 32, 34, 35, 36, 39, 69

M

Martensita 30, 31, 36

Meta-Aramidas 7, 194, 195, 196, 197, 199, 200, 203

Morfologia do revestimento 46

P

Parâmetros operacionais 46

Poliestireno 6, 14, 15, 133, 149, 150, 156, 157, 158, 185

Polímeros 3, 5, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 82, 84, 86, 90, 147, 158, 182, 192, 195, 196, 203

R

Resíduos 5, 78, 79, 80, 82, 83, 94, 99, 103, 106, 107, 108, 110, 116, 119, 123, 125, 127, 129, 130, 131, 157

Reticulação com peróxido 132

Revestimento metálico 46

S

Síntese 18, 21, 158

Soldagem 41, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 209

Superfície ocular 6, 180, 181, 182, 190, 191, 193

Sustentabilidade 103, 104, 106, 108, 127, 149

Sustentável 80, 81, 94, 98, 99, 106, 107, 108, 116, 127, 130, 150

T

Tamarindo 6, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Textura 30, 36, 37, 150

Tratamentos Térmicos 38, 39, 41

Tubos de papelão 5, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105

W

WC nanoestruturado 4, 18, 20, 21, 26, 28

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
- 🌐 www.atenaeditora.com.br
 - ✉ contato@atenaeditora.com.br
 - 📷 @atenaeditora
 - 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br