Análise dos processos de Cromagem, Niquelagem, Zincagem e Estanhagem

Analysis of the processes of chromium plating, nickel plating, zinc plating and tin plating

DOI:10.34117/bjdv7n10-136

Recebimento dos originais: 13/09/2021
Aceitação para publicação: 13/10/2021

Evandro Antonetti
Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas (ICCT), Universidade Feevale, 93510-250, Novo Hamburgo, RS, Brazil.

Eduardo Luis Schneider
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) - Av. Bento Gonçalves - 9500 - Campus do Vale - Bairro Agronomia - 91501- 970 - Porto Alegre - RS - Brasil.
E-mail: prof.eduardo@ufrgs.br

Cléber Fernando Homem
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) - Av. Bento Gonçalves - 9500 - Campus do Vale - Bairro Agronomia - 91501- 970 - Porto Alegre - RS - Brasil.

Daniel Diehl
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) - Av. Bento Gonçalves - 9500 - Campus do Vale - Bairro Agronomia - 91501- 970 - Porto Alegre - RS - Brasil.

Lisete Cristine Scienza
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) - Av. Bento Gonçalves - 9500 - Campus do Vale - Bairro Agronomia - 91501- 970 - Porto Alegre - RS - Brasil.

Sandra Raquel Kunst
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) - Av. Bento Gonçalves - 9500 - Campus do Vale - Bairro Agronomia - 91501- 970 - Porto Alegre - RS - Brasil.

Fernando Dal Pont Morisso
Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas (ICCT), Universidade Feevale, 93510-250, Novo Hamburgo, RS, Brazil.

Cláudia Trindade Oliveira [a]
Instituto de Ciências Criativas e Tecnológicas (ICCT), Universidade Feevale, 93510-250, Novo Hamburgo, RS, Brazil.

RESUMO
A cada ano, surge um grande interesse em combater a corrosão sobre peças, componentes e máquinas utilizadas em diversos setores das engenharias, e tendo em vista isto, investe-se nos processos de recobrimentos de prevenção contra a corrosão. O objetivo deste trabalho é apresentar aspectos básicos nesta área de recobrimentos metálicos, com enfase nos processos de cromagem, niquelagem, Zincagem e estanhagem. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica que aborda os principais recobrimentos utilizados nas indústrias, e também suas vantagens, desvantagens e aplicações. Também foi realizada uma comparação destes materiais utilizados nos processos de recobrimentos com o *software* Cambridge Engineering Selector® a fim de comparar os custos e valores de durezas associados aos mesmos. Os resultados indicam que os recobrimentos possuem diversas vantagens sob os processos convencionais de prevenção contra a corrosão, que tem aumentado cada vez mais seu campo de aplicação. Entretanto, assim como vantagens, possuem desvantagens, que são a geração de efluentes líquido e gasosos, que ao serem liberados no meio ambiente, geram impactos ambientais severos. Por isso, junto com o aumento de suas aplicações, tem crescido os estudos sobre formas de tratar e reutilizar estes efluentes.

Palavras-chave: Recobrimentos, Galvanização, Corrosão, Revestimentos, Materiais.

ABSTRACT
Each year, there is a great interest in fighting corrosion on parts, components and machines used in various engineering sectors, and in view of this, it is invested in the processes of prevention coatings against corrosion. The objective of this paper is to present basic aspects in this area of metallic coatings, with emphasis on the processes of chromium plating, nickel plating, zinc plating and tin plating. To this end, a literature review was carried out that approaches the main coatings used in the industries, as well as their advantages, disadvantages, and applications. A comparison of these materials used in the coating processes was also performed using the Cambridge Engineering Selector® software to compare the costs and hardness values associated with them. The results indicate that coatings have several advantages over conventional corrosion prevention processes, which have increasingly increased their field of application. However, as well as advantages, they have disadvantages, which are the generation of liquid and gaseous effluents, which when released into the environment, generate severe environmental impacts. Therefore, along with the increase of its applications, there has been a growing number of studies on ways to treat and reuse these effluents.

Keywords: Coatings, Galvanizing, Corrosion, Coatings, Materials.

1 INTRODUÇÃO

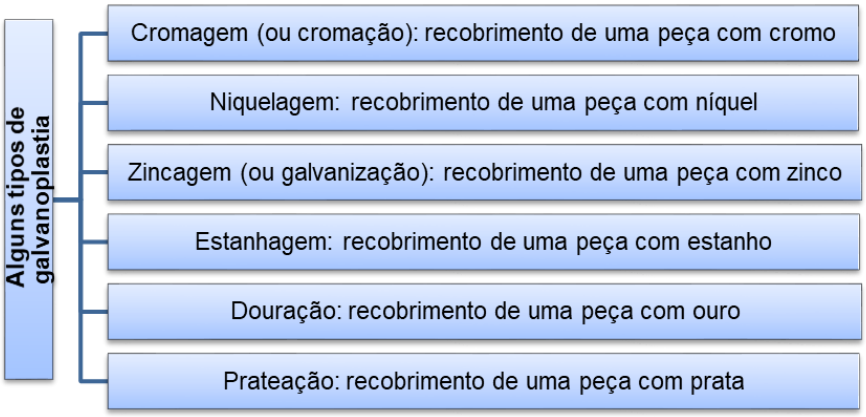
Um grande problema que causa grandes prejuízos anuais na casa dos bilhões para o mundo é a corrosão que consome mais de 20% da produção mundial de ferro. Por isso, os consumidores estão impondo uma grande pressão para que as indústrias que confeccionam produtos passíveis de corrosão, adotem métodos eficientes de combate e prevenção à corrosão. Com isso, tanto os produtos finais, como os estágios intermediários

dos processos, passaram a utilizar diferentes métodos contraceptivos da corrosão, dentre os quais destacam-se os revestimentos protetores [1].

Estes revestimentos são películas que se encontram entre o meio corrosivo e o metal a ser protegido. Esta proteção pode ser formada por produtos orgânicos ou inorgânicos insolúveis, que atuam por efeito de barreira, por inibição ou por proteção catódica, dentre outros [2,3].

A galvanoplastia é um processo químico ou eletroquímico em que uma fina camada de metal é empregada sobre a superfície de um objeto (metálico ou não). Em materiais metálicos, a galvanosplastia pode ter diferentes propósitos, desde um aumento da resistência química (à oxidação, por exemplo) e mecânica (dureza, por exemplo), a alterações de propriedades físicas (condutividade elétrica, por exemplo) ou simplesmente por interesse estético (brilho, por exemplo). O tipo de galvanoplastia sempre está associado ao metal para recobrir determinada peça, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Alguns tipos de galvanoplastia.



Fonte: Autores.

Em alguns casos, a proteção à corrosão de um determinado metal ocorre porque o metal do revestimento é mais nobre e, portanto, mais resistente à oxidação, como é o caso do aço cromado. Em outros casos, a proteção acontece porque o metal do revestimento possui uma tendência maior de oxidar-se (perder elétrons) do que o metal da peça que ele está revestindo. Desse modo, o metal do revestimento oxidará e formará uma camada de óxido que protegerá a peça, como é o caso do aço zincado.

Alguns dos revestimentos utilizados pela indústrias possuem as seguintes vantagens: menor custo de manutenção; durabilidade; rapidez do processo; inalteração das propriedades da peça; versatilidade de aplicação; grande resistência mecânica; proteção completa da peça; confiabilidade e facilidade de inspeção [4]. Entretanto, assim

como possuem vantagens, também possuem desvantagens, que são os problemas relacionados com a poluição e a geração de quantidades de resíduos como substâncias tóxicas e metais pesados. Por isso, empresas também vem buscando por formas de tratamento dos efluentes gerados nos processos galvânicos/recobrimentos, com o intuito de diminuir os impactos ambientais e reaproveitar o máximo possível dos materiais que possam ser reciclados no processo, diminuindo a ocorrência de doenças ocupacionais e o aumento dos custos ambientais.

2 RECOBRIMENTOS METÁLICOS CONTRA A CORROSÃO

2.1 CROMAGEM

A cromagem ou cromação é um processo de aplicação de cromo sobre um metal (ou outro material), através de um processo eletrolítico, a fim de torná-lo mais resistente à corrosão, para alterar suas propriedades elétricas ou térmicas, aumentar a resistência ao desgaste (cromação dura) ou apenas por motivos estéticos (cromagem decorativa). O processo se dá a partir de banhos de ácido crômico com pequena porcentagem de ácido sulfúrico. Geralmente este processo se realiza depois do processo de niquelagem [5]. Uma das aplicações da cromagem é o recobrimento de ferramentas, ou peças, como a representada na Figura 1, com o intuito de aumentar sua vida útil, devido ao alto custo dos componentes de reposição. Sua elevada dureza superficial pode favorecer origem de trincas, o que popde comprometer o revestimento pela degradação superficial, além de sua fragilização causada pelo hidrogênio, que influenciam na sua qualidade [3,6].

Figura 2. Misturador para lavatório de mesa cromado.



Fonte: Autores.

Esse processo é amplamente utilizado para conferir proteção e aparência mais atraente a determinados produtos. Sua base geralmente é aço, alumínio, plásticos, ligas

de cobre e zinco fundido. O principal componente das soluções utilizadas no processo é o trióxido de cromo, sendo que sua concentração varia em torno de 25% [7,8].

2.1.1 Cromagem por imersão

A cromagem por imersão é o processo mais tradicional de revestimentos com cromo, consistindo na preparação das peças por meio de banhos quimicamente controlados capazes de remover impurezas (desengraxe), metais de base desgastados (decapagem e ativação), todas estas etapas intercaladas com lavagens, seguindo para tanque contendo a solução contendo aditivos e o metal a ser depositado. Todo este processo deve ser realizado sob a supervisão de um químico e de um técnico em galvanoplastia para garantir a qualidade do tratamento.

Os elementos mais utilizados na cromagem por imersão são o cromo trivalente e o cromo hexavalente, também chamado de cromo duro, que são os elementos mais estáveis. O principal problema deste tratamento é a geração de efluentes, tanto líquidos, quanto gasosos, além de resíduos perigosos [7].

2.1.2 Outros processos de cromagem

Além da cromagem por imersão, há outros tipos de processos, dependendo da aplicação das peças, o revestimento pode ser realizado das seguintes formas: folheação por contato, metalização por contato, metalização por imersão, ou spray com pistolas de ar comprimido, sendo destas, somente a primeira utiliza do metal verdadeiro. Nos outros processos, utiliza-se substâncias que podem conter partículas de cromo ou outro material que imite suas características, entretanto, não confere a mesma resistência à peça que o tratamento com o cromo verdadeiro [8]

2.2 Niquelagem

A niquelagem consiste no processo eletrolítico, ou químico, de deposição de níquel, com intuito de conferir maior resistência à corrosão ao substrato, permitindo uma cromagem posterior com maior facilidade [5]. Seu processo é considerado uma arte, pois há devidos cuidados, que devem ser minuciosamente seguidos com rigor, pois a presença de qualquer discrepância resultará na dificuldade de deposição do níquel [8].

Há banhos de níquel semibrilhantes e brilhantes. Ambos possuem alto poder de nivelação, entretanto, o semibrilhante proporciona uma camada de elevada ductilidade e

fácil polimento. Já o banho brilhante proporciona grande aumento na resistência à corrosão [8].

A niquelação química é o método mais conveniente para revestir peças complexas ou tubos difíceis de serem revestidos por outros métodos [9]. A eletrodeposição de níquel é o método utilizado para nivelar imperfeições de peças, utilizado como acabamento decorativo, sendo extensamente aplicado em acessórios para uso doméstico, como torneiras, dobradiças, em aparelhos eletrodomésticos ou até mesmo em peças e equipamentos para fins militar e aeroespacial [10].

2.3 Zincagem

A zincagem, popularmente conhecida como galvanização, é um processo que tem por finalidade combinar o zinco com o ferro, promovendo a proteção contra a corrosão, já que o zinco age como barreira evitando o contato da água e ar atmosférico com o ferro, sofrendo a corrosão antes do mesmo. As peças submetidas a este tipo de recobrimento apresentam maior durabilidade em comparação aos não submetidos ao tratamento, apresentando comportamentos diferentes em ambientes rurais, industriais, urbanos e marítimos. Seu desempenho à corrosão depende do grau de pureza do zinco utilizado, da espessura e qualidade do revestimento e da agressividade do meio de exposição. A zincagem pode ser feita de três maneiras: por imersão à quente, por aspersão térmica e eletrolítica [11,12].

2.3.1 Zincagem por imersão à quente

Na zincagem por imersão, a peça passa por vários estágios incluindo desengraxe, decapagem, fluxagem e secagem antes de ser imersa em banho de zinco fundido a uma temperatura de 450 a 480 ºC, onde o zinco se difunde no metal de base, sendo normalmente o aço ou ferro fundido. Esta difusão provoca transformações metalúrgicas, que geram camadas intermediárias com teores crescentes de zinco até sua superfície, permanecendo uma camada de zinco puro. Mantendo-se controle das condições do banho, é possível obter espessuras variadas, conforme exemplos listados na Tabela 1. Posteriormente, necessita-se de um tratamento de passivação em banho adequado, ou aplicação de óleo. Este tratamento tem por finalidade proteger a superfície revestida durante o armazenamento ou transporte.

Tabela 1. Relação entre o tempo de imersão e a espessura da camada [4].

Tempo de Imersão	Espessura (µm)	
	Sem jateamento	Com Jateamento
15 s	33	80
30 s	52	110
60 s	60	130
2 min	82	180
3 min	110	220
4 min	130	240

Fonte: ZEMPULSKI E ZEMPULSKI.

Entre o zinco e o ferro, durante a galvanização à quente, há reações metalúrgicas que fazem o revestimento possuir excelente aderência ao material base, sendo esta muito maior que as produzidas pelos revestimentos de processos mecânicos ou químicos. Para chapas estreitas e finas, a velocidade de uma linha de galvanização pode ser limitada apenas mecanicamente e pode ser da ordem das várias centenas de metros por minuto" [10]. Geralmente os produtos são utilizados na construção civil, sendo seus principais requisitos são resistência à corrosão, conformabilidade e aparência estética. Os que sofrem recozimento, são utilizados nos setores automobilísticos e eletrodomésticos, possuindo todas as características anteriores, ainda mais a boa soldabilidade e adequação como substrato para pintura.

2.3.2 Zincagem por aspersão térmica (metalização)

Processo que utiliza uma pistola, como as de pintura que projeta partículas de metal líquido na superfície rugosa do aço ou ferro fundido. Ao alvejar a peça metálica ocorre a aspersão do zinco. Não há a formação de intermetálicos e a adesão é obtida pelo ancoramento mecânico junto à superfície. Devido às exigências elevadas em termos de preparo e limpeza superficial, o custo deste tratamento é alto.

Este método é adequado para obter revestimentos extremamente espessos, em torno de 250 µm ou mais, sendo que a porosidade inerente dos revestimentos não é prejudicial para a proteção contra a corrosão, pois estas descontinuidades rapidamente são seladas com produtos de corrosão. É comumente utilizado na recuperação de elementos imóveis [11].

2.3.3 Zincagem ou galvanização eletrolítica

Processo em que se deposita eletroliticamente o zinco no metal base, formando uma camada homogênea, fina e aderente, não influenciando nas propriedades mecânicas do material, partindo de uma solução na qual estão dissolvidos sais de metal que deseja-se depositar.

Caracteriza-se por uma microestrutura microfacetada na superfície, característica similar aos cristais hexagonais de zinco. O aço que sofre este tratamento não apresenta ligas intermetálicas, sendo este revestimento constituído apenas por zinco puro. Esta operação é adequada para produtos que sofrerão conformação posterior ao processo, produtos que requerem acabamentos brilhantes e decorativos, além de aderência a tintas e outros tipos de recobrimentos com intuito de acabamentos decorativos, e proteção contra corrosão [12].

2.4 ESTANHAGEM

Processo de deposição de estanho, normalmente utilizado em circuitos impressos para indústria eletrônica, revestimentos de utensílios domésticos com intuito de evitar a corrosão, e, também, na fabricação de folhas-de-flandres [11]. O estanho apresenta cor branco-prateada, possuindo boa resistência anti-corrosiva contra a ação da atmosfera, umidade, soluções aquosas de sais e ácidos fracos. O estanho é um metal resistente e não tóxico, o que torna grande sua utilização na indústria alimentícia [13]. Pode-se utilizar este processo em diversos metais ferrosos e não ferrosos, entretanto, o método é mais frequentemente associado com a aplicação de uma fina camada em folhas de aço ou de ferro fundido. A estanhagem pode ser feita por imersão em banho de estanho fundido, por metalização ou por deposição eletrolítica [14].

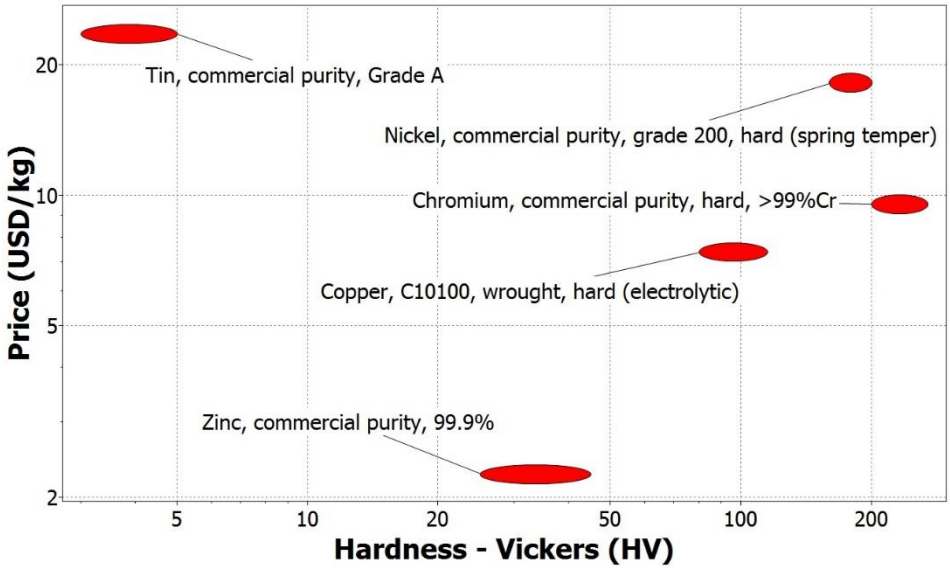
2.5 COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES DOS PROCESSOS DE RECOBRIMENTOS

Com objetivo de analisar alguns dos materiais utilizados nos processos de recobrimentos, realizou-se uma seleção de materiais computadorizada com o *software* Cambridge Engineering Selector® (CES 2017) a fim de comparar os custos e os valores de durezas associados aos mesmos. Este *software* possibilita realizar, de modo virtual, o cruzamento de propriedades de materiais, onde, a partir de um banco de dados, se faz a triagem dos materiais coincidentes aos requisitos solicitados, eliminando os que não

atendem os requisitos em questão. Assim, foi elaborado um gráfico comparando dureza versus preço desses materiais.

Através da análise do gráfico gerado pelo software CES mostrado na Figura 3, pode-se perceber que, a utilização do estanho apresenta o custo mais elevado e a menor faixa de valores de dureza, entre 2 e 5 HV. Por outro lado, o zinco proporciona o menor custo por unidade de massa, o que está de acordo com a elevada demanda por este material na indústria. Contudo, o zinco possui faixa de valores de dureza entre 25 e 45 HV. O cobre apresenta faixa de valores de dureza variando entre 80 e 120 HV, sendo mais vantajoso em relação ao zinco em termos de resistência ao desgaste, porém a um custo entre 7 a 8 USD/kg, podendo ser aproximadamente quatro vezes mais caro. Já o cromo proporciona o maior valor de dureza, sendo superior a 200 HV, porém a um custo entre 9 a 10 USD/kg. Já o níquel apresenta dureza entre 170 e 200 HV porém com um custo variando entre 18 e 19 USD/kg.

Figura 3: Comparação dos valores de dureza (HV) e preço (USD/kg) de materiais utilizados nos processos de recobrimentos com o *software* Cambridge Engineering Selector® (CES 2017).



Fonte: Autores.

3 CONCLUSÃO

Os processos que vem sendo empregados como revestimento de proteção contra a corrosão possuem características que os tornam mais adequados para atender determinadas necessidades de projetos para diversas aplicações. Os processos de recobrimento de uma peça metálica com outro metal apresentam vantagens e desvantagens. Um dos maiores problemas está associado aos produtos tóxicos e metais pesados que possam estar presentes, gerando problemas de saúde ocupacional. Estes

processos acabam gerando certos efluentes que necessitam de tratamentos para minimizar os impactos ao meio ambiente. Em vista disso, há um alto investimento em pesquisas para se definir processos de tratamento destes efluentes, visando a reutilização dos mesmos.

A análise do gráfico elaborada com o software CES permitiu relacionar os valores de dureza (HV) e preço (USD/kg) de alguns dos materiais utilizados nos processos de recobrimentos e constatar que para diversas aplicações onde se prioriza o menor custo por unidade de massa, o zinco se apresenta vantajoso proporcionando o menor preço e justificando sua elevada demanda na indústria. Já para peças e componentes que requerem elevada dureza, o cromo e o níquel se destacam, porém o cromo apresenta a vantagem de ter uma dureza média ligeiramente superior com um preço de aproximadamente a metade do valor do níquel.

REFERÊNCIAS

[1]. MAZZER, E. M.; AFONSO, C. R. M. Avaliação da aplicação de recobrimento metálico amorfo para proteção contra corrosão e desgaste. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), SP, Brazil. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 7.2 (2012)123 – 130, ISSN 1809-8797, 2012.

[2]. COLARES, C. J. G.; JÚNIOR, E. J. de S.; COLARES, E. C. G.; COSTA, O. S. da. Estudo de Caso do Tratamento de Efluentes Líquidos Gerados no Processo de Galvanoplastia. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Estadual de Goiás, Novembro, 2010.

[3]. GONÇALVES JR, J. L. Influência de Modificações Superficiais (Cromagem e Texturização) no Comportamento Tribológico de Aços para Fabricação de Cilindros de Laminação a Frio. 2011. 93f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

[4]. ZEMPULSKI, Ladislau N.; ZEMPULSKI, Marina Fernanda S. Galvanização Eletrolítica. Dossiê Técnico, Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, Julho, 2007.

[5]. SILVA, A.; FIRMINO, M.; BASTOS, J. Tratamento de Águas Residuais de uma Indústria de Niquelagem e Cromagem de Metais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. U. Porto, 2015.

[6]. MOURA, Robson L. C.; GRANDINETTI, Francisco J. Estudo da Viabilidade do Processo de Eletrodeposição de Cromo em Ferramental de Estampagem. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, SP, 2017.

[7] DENTINHO, Manuel Vacas de Carvalho Ponce. Melhoramento de um Processo de Cromagem de Segmentos de Pistão. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharua Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

[8]. TOCCHETTO, M. R. L.; PEREIRA, L. C.; TOCCHETTO, A. L. Principais Recobrimentos Metálicos Executados em Grandes Empresas do Rio Grande do Sul. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, p. 32-35, Santos, SP, 2005.

[9]. SILVA, G. B. D. Desenvolvimento de Novas Soluções em Materiais para Resistências de Chuveiros Elétricos. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica – EMC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2013.

[10]. BENVENUTI, T. Estudo do Transporte Iônico no Tratamento do Efluente de Níquelação por Eletrodiálise Empregando Técnicas Cronopotenciométricas. Ministério da Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Escola de Engenharia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais (LACOR), Porto Alegre, 2017.

[11]. WIERCINSKI, A. Galvanoplastia: Melhorias no Processo de Zincagem Eletrolítica. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Curso de Pós Graduação Lato Sensu em Engenharia Industrial, Panambi/RS, 2015.

[12] WIERCINSKI, Adriano. Galvanoplastia: melhorias no processo de zincagem eletrolítica. 2015. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2015.

[13]. FERRARI, J. V. Contaminação com Sal de Cloreto e Cromatização da Superfície do Aço Zincado no Processo Não-Contínuo de Zincagem por Imersão a Quente: Influência no Desempenho de Tintas e Determinação de Pré-Tratamentos para Pintura Adequados. 2006. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Materiais) – Escola Politécnica, universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

[14]. METALFIM. Estanhagem Eletrolítica. Disponível em: <http://www.metalfim.ind.br/site/estagem- eletrolitica>. Acesso em: 21/05/2018 às 15:56.