



Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

CARLOS ALBERTO TRIGOLO

**DEPOSIÇÃO DE CAMADAS PROTETIVAS SOBRE PEÇAS
METÁLICAS DECORATIVAS PARA A PREVENÇÃO CONTRA A
CORROSÃO**

Assis
2014

CARLOS ALBERTO TRIGOLO

DEPOSIÇÃO DE CAMADAS PROTETIVAS SOBRE PEÇAS
METÁLICAS DECORATIVAS PARA A PREVENÇÃO CONTRA A
CORROSÃO

Trabalho de conclusão de
curso de Curso apresentado ao
Instituto Municipal de Ensino
Superior de Assis, como
requisito do Curso de
Graduação

Orientador: Prof^ª. Dra Silvia Maria Batista de Souza

Área de Concentração: Química

Assis
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

TRIGOLO, Carlos Alberto

Deposição de camadas protetivas sobre peças metálicas decorativas para a prevenção contra a corrosão / Carlos Alberto Trigo. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA – Assis, 2014.

77 p.

Orientador: Dr.^a Silvia Maria Batista de Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1. Corrosão. 2. Eletrodeposição. 3. Proteção. 4. Alumínio.

CDD: 660

Biblioteca da FEMA

DEPOSIÇÃO DE CAMADAS PROTETIVAS SOBRE PEÇAS METÁLICAS DECORATIVAS PARA A PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO

CARLOS ALBERTO TRIGOLO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Municipal
de Ensino Superior de Assis, como
requisito do Curso de Graduação,
analisado pela seguinte comissão
examinadora:

Orientador: Prof^ª. Dra. Silvia Maria Batista de Souza

Analizador: Prof^ª. Mary Leiva de Faria

Assis
2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Arlindo Trigolo e Maria de Lourdes Z. Trigolo; aos meus irmãos, Marcos, Iracema, Jairo e Jorge; e à minha namorada Camila S. Molero.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que em sua infinita sabedoria me inspirou, me deu forças, saúde, sabedoria e determinação para que não desistisse frente às dificuldades.

Agradeço ao meu pai e à minha mãe, que são exemplos de superação, pois do trabalho difícil da agricultura, sempre me motivaram para que eu buscasse incansavelmente, por mais difícil que fosse, chegar cada vez mais longe.

Agradeço a Camila Schimite Molero, por estar ao meu lado durante essa fase de estudos, me apoiar e me inspirar e compreender o quanto de valor isso representa.

Agradeço à professora, Dr.^a Silvia Maria Batista de Souza, minha orientadora, com quem tive a grata satisfação de desenvolver o presente trabalho e que sempre me estimulou, mesmo com todas as dificuldades nunca duvidou que seria possível desenvolver este tema.

Aos amigos da faculdade pelo companheirismo e estímulo, pelas trocas de valores que ao passar dos anos se transformaram em conhecimento e formaram o que há de mais valioso, a amizade, mesmo que exista a distância, pelos momentos bons que passamos.

As inúmeras pessoas que me ajudaram durante estes anos, sem citar nomes, para não ser injusto com ninguém ao esquecer algum nome, mas pelo fato que significaram muito, aos quais devo o respeito.

Agradeço a todos da equipe de trabalho da Empresa Anion: Marcio, Leandro, Carmo, Sra. Ioko e Erika, pois sempre estiveram prontos para sanar minhas dúvidas e ajudar nos testes.

A todos os professores da Fema, de modo especial a Professora Dra. Mary, por todas as ajudas durante esses anos, pois somou muito conhecimento o nosso convívio.

In memória não posso deixar de agradecer ao técnico em química Sr. Paulo Sergio Soares, com o qual tive o prazer de trabalhar durante 10 anos e nesse convívio passei a gostar muito da minha profissão e querer aprender mais e buscar ser melhor.

Agradeço a toda minha equipe de trabalho, pois sozinho ninguém chega a lugar algum, e se hoje sou encarregado é porque houve homens e mulheres que confiaram na minha liderança e que juntos poderíamos superar todas as diferenças e romper os limites aos quais nos empunham.

Agradeço enfim a todos que acreditaram, e me deram apoio, e que de alguma forma acreditaram que era possível.

Não conheço nenhuma fórmula infalível para obter o sucesso, mas conheço uma forma infalível de fracassar: tentar agradar todos.

John F. Kennedy
(1917- 1963)

RESUMO

Os problemas de deterioração aparecem nas mais variadas atividades da vida econômica e de processos industriais, e assim as peças metálicas também sofrem com os efeitos da corrosão, o que gera grande prejuízo econômico. Por isso a galvanoplastia trabalha para revestir superfícies de objetos, conferindo-lhes maior resistência e beleza, e isto ocorre por meio da deposição de camadas metálicas através de processos eletrolíticos. Este trabalho descreve os tratamentos eletrolíticos aplicado em peças metálicas de alumínio, com o objetivo de aplicar e avaliar em escala laboratorial, a deposição de múltiplas camadas protetivas sobre peças decorativas de alumínio a fim de evitar que ocorra o processo de corrosão. Os estudos mostram que tal processo pode ser realizado por meio de pré-tratamentos mecânicos (agregam valor estético às peças) e químicos (oferecem garantia de um bom desempenho dos tratamentos que posteriormente serão empregados). No pré-tratamento químico, a peça passa por ativação ácida, para retirar os óxidos formados pelo pré-tratamento, o que possibilita que o zinco seja depositado no alumínio, o qual precisa de uma camada de proteção contra os ácidos do cobre ácido, que será depositado posteriormente. Na sequência, a peça deve passar por tratamentos eletrolíticos, os quais são: tratamento com cobre ácido; seguido de níquel, o qual se subdivide em níquel brilhante e semibrilhante; para finalização com cromo. Seguindo esta sequência, foi realizado em laboratório a produção de 6 peças metálicas, as quais passaram por testes com névoa salina para a comprovação da eficiência do processo. Tais conceitos podem ainda ser trabalhados no ensino médio, como proposta de aulas diferenciadas e aulas práticas para conteúdos como óxido redução e pilhas. Para a comprovação da ideia de múltiplas camadas, produziu-se peças que passam por sequências diferentes de tratamentos, bem como tempo de banho diferenciados. Os diferentes testes levaram à diferentes números de camadas. Assim verificou-se através dos resultados, que o melhor tratamento é o descrito para a peça C, pois resistiu por mais tempo à corrosão, o que evidencia a necessidade de várias camadas protetivas sobre a peça.

Palavras-chave: Corrosão; Eletrodeposição; Proteção; Alumínio.

ABSTRACT

The deterioration problems appear in various activities of economic life and industrial processes, and so the metal parts also suffer from the effects of corrosion, which causes great economic loss. So electroplating works to coat surfaces of objects, giving them strength and beauty, and this occurs through the deposition of metal layers by electrolytic processes. This paper describes treatments applied to the electrolytic metallic aluminum parts, in order to apply and evaluate on a laboratory scale, the deposition of multiple protective layers on aluminum decorative pieces in order to avoid causing corrosion. Studies show that this process can be performed by means of mechanical pre-treatment (add aesthetic value to the parts) and chemical (offer guarantee a good performance of the treatments that will be used later). In the chemical pre-treatment, the piece undergoes acid activation to remove the oxides formed at pretreatment, which enables the zinc to be deposited into the aluminum, which have a layer of protection from acid copper acids which will be deposited later. Following, the piece must go through electrolytic treatments, which are: treatment with copper acid; followed by nickel, which is divided into bright and semi-gloss nickel; to finish with chrome. Following this sequence, was performed in the laboratory production of 6 metal parts, which underwent tests with salt spray for attesting the process efficiency. Such concepts can still be worked in high school, as proposed differentiated and practical classes for content such as oxide reduction and batteries. To test the idea of multiple layers, was produced pieces that go through different sequences of treatments and different bath time. The different tests have led to different numbers of layers. Thus it was found from the results that the best treatment is described for the part C, for longer resisted corrosion, which highlights the need for multiple protective layers on the piece.

Keywords: Corrosion; Electroplating; Protection; Aluminum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Representação de uma pilha galvânica	18
Figura 2 -	Mecanismo básico da corrosão.....	21
Figura 3 -	Imagem representando oxidação branca.....	22
Figura 4 -	Esquema representativo do processo de corrosão.....	22
Figura 5 -	Equação de redução do oxigênio e do hidrogênio.....	23
Figura 6 -	Esquema representativo da ação da corrosão em uma liga de alumínio.....	23
Figura 7 -	Esquema representativo das diversas formas de oxidação.....	24
Figura 8 -	Posicionamento das peças para etapa de lixamento do alumínio (A); Lixamento da peça de alumínio (B).....	25
Figura 9 -	Máquina de polimento semiautomático (A); Roda de sisal (B); Superfície polida (C) Barra de sebo utilizado para fixar a massa na roda (D)	28
Figura 10 -	Roda e massa utilizada para o polimento.....	28
Figura 11-	Segunda etapa do polimento, com rodas de algodão plissadas (A); Superfície do metal polido (B).....	29
Figura 12 -	Foto do polimento final (A); superfície das peças espelhadas (B); disco de algodão utilizado na ultima etapa de polimento (C); massa de polimento (D).....	30
Figura 13 -	Redução da tensão superficial da sujidade aderida na superfície.....	32
Figura 14 -	Formação de misturas de óleo em água.....	33
Figura 15 -	Princípio da limpeza por dispersão.....	34
Figura 16 -	Reação de formação de hidrogênio e oxigênio.....	34
Figura 17 -	Esquema representativo da variação da frequência e formação de bolhas.....	36
Figura 18 -	Esquema sequencial do processo de eletrodeposição.....	39
Figura 19 -	Esquema representativo da eficiência da aplicação da dupla camada de níquel.....	41
Figura 20 -	Reação eletroquímica da deposição de níquel.....	43
Figura 21 -	Reação química do níquel.....	43

Figura 22 - Desenho esquemático de uma célula eletroquímica.....	44
Figura 23 - Reação nos catodos (A); Reação dos anodos (B).....	46
Figura 24 - Representação da pilha de Daniell.....	49
Figura 25 - Equação global da pilha de Daniell.....	50
Figura 26 - Pesagem do ácido bórico em balança eletrônica.....	52
Figura 27 - Pesagem do sulfato de níquel em balança eletrônica.....	53
Figura 28 - Pesagem do carvão ativado em balança eletrônica.....	54
Figura 29 - Eletrólito de níquel com carvão ativado (A); Filtração do eletrólito de níquel (B)	55
Figura 30 - Placas de anodo de níquel utilizado para eletrodeposição de níquel (A); Placas de anodos de níquel ensacadas com tecido de polipropileno (B).....	56
Figura 31 - Placas de anodo de cobre utilizadas no banho de cobre ácido.....	57
Figura 32 - Tanque com mistura de cromo utilizadas nos ensaios.....	58
Figura 33 - Peça submersa em mistura triácida (A); superfície do metal após ativação ácida (B).....	59
Figura 34 - Peça submersa em banho de zinco (A); superfície do alumínio após a redução do zinco (B).....	60
Figura 35 - Peça entrando no primeiro processo eletrolítico (A); peça saindo do acabamento com níquel semibrilhante (B).....	61
Figura 36 - Peça passando por ativação em ácido sulfúrico	61
Figura 37 - Peça entrando no banho de cobre ácido (A); lavagem da peça após a deposição de cobre ácido (B).....	62
Figura 38 - Peça após a deposição de níquel brilhante	63
Figura 39 - Peça cromada	63
Figura 40 - Amostra para teste 1, peça A	67
Figura 41 - Amostra para teste 2, peça B	68
Figura 42 - Amostra para teste 3, peça C	68
Figura 43 - Peça A com pontos de corrosão devido ao teste de névoa salina	69
Figura 44 - Peça B com pontos de corrosão devido ao teste de névoa salina	70
Figura 45 - Peça C não apresentou corrosão ao teste de névoa salina	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos processos de tratamento de superfície nas peças A, B e C	65
Tabela 2 - Tempo de duração dos processos de tratamento de superfície do alumínio	66
Tabela 3 - Datação e duração do teste de névoa salina	67
Tabela 4 - Testes realizados, com duração e resultados	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTS	Associação Brasileira de Tratamento de Superfície
ASTM	American Society for Testing Materials
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cm	Centímetro
Dm	Decímetro
g/L	Gramas por Litro
Kg	Quilograma
Mg	Miligrama
m/min	Metros por Minuto
pH	Potencial Hidrogeniônico
Ppm	Partes por milhão
Rpm	Rotações por minuto
SESI	Serviço Social da Industria
TEC	Tecnal Equipamento de Laboratório

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
C	Celsius
F	Força
G	Grama
H	Hora
Hz	Hertz
I	Corrente elétrica de proteção, em Amperes
L	Litros
S	Segundo
V	Volt
W	Wats

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. PROCESSOS ELETROQUÍMICOS (ELETROLÍTICOS)	18
3. OS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	20
3.1 CORROSÃO	21
3.1.1 Tipos de Corrosão	21
3.1.2 A influência do meio no processo de corrosão	22
3.2 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES DOS METAIS.....	24
3.2.1 Pré-tratamento para a eletrodeposição	24
3.2.1.1 Pré-tratamento mecânico	25
3.2.1.1.1 Polimento Mecânico	26
3.2.1.1.1a Polimento em discos de tecidos especiais e corda de sisal.....	27
3.2.1.1.1b Polimento em rodas de algodão plissada	28
3.2.1.1.1c Polimento em discos de algodão	29
3.2.1.2 Pré-tratamento químico	30
3.2.1.2.1 Uso de desengraxantes na limpeza do metal	31
3.2.1.2.1a Desengraxante químico.....	31
3.2.1.2.1b Desengraxante eletrolítico	34
3.2.1.2.1c Desengraxante pelo sistema de ultrassom.....	35
3.2.1.2.2 Ativação ácida	36
3.2.2 Deposição do zincato no alumínio (Mordente)	37
3.3 ELETRODEPOSIÇÃO DE CAMADAS	38
3.3.1 Aplicação da eletrodeposição para feitos decorativos	38
3.3.1.1 Cobre Alcalino	40
3.3.1.2 Cobre Ácido	40
3.3.1.3 Aplicação de Níquel	41
3.3.1.4 Cromo	45
4. APLICABILIDADE AO ENSINO MÉDIO	47
5. MATERIAIS E MÉTODOS	51

5.1 MATERIAS.....	51
5.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	52
5.2.1 Preparação do banho de níquel.....	52
5.2.2 Preparação do banho de cobre	56
5.2.3 Preparação do banho de cromo	57
5.2.4 Solução Triácida	58
5.2.5 Banho de zincato	58
5.2.6 Eletrodeposição nos corpos de prova	58
5.2.7 Teste de resistência de corrosão	64
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
7. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de deterioração aparecem nas mais variadas atividades da vida econômica de processos industriais, sendo conhecidos diversos casos de corrosão na indústria petroquímica, naval, química, construção civil, automobilística, nos meios de transporte, em todas as etapas do sistema elétrico, em telecomunicações, em odontologia, obras de arte e monumentos históricos, etc. (GENTIL, 2003).

Com exceção dos metais nobres, todos os metais em contato com o ar reagem e formam óxidos, hidróxidos ou formas semelhantes, formando um sistema termodinamicamente instável. Metais como o alumínio, por exemplo, não poderiam ser usados na superfície terrestre, por isso é preciso tratar o metal para que este tenha sua velocidade de reação controlada (PONTE, 2003).

A corrosão ocorre espontaneamente na superfície dos metais e gera grande prejuízo econômico para a sociedade. Como exemplo de prejuízos temos: objetos metálicos, tais como utensílios domésticos e eletrodomésticos; nas indústrias, equipamentos e máquinas industriais, que precisam receber manutenção ou ser substituídos; nas cidades, a corrosão de estruturas de pontes, edifícios, carros, navios e monumentos artísticos (PONTE, 2003).

Do ponto de vista econômico, os prejuízos causados atingem custos extremamente altos, resultando em consideráveis desperdícios de investimento. Às vezes, o custo de um novo material que substituirá o antigo é de 20 a 50 vezes mais alto, o que inviabiliza a reposição. Sem falar dos acidentes e perdas de vidas humanas provocados por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos. Estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações deterioradas pela corrosão (MERCON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

A galvanoplastia é um ramo da indústria que tem como objetivo revestir a superfície de objetos, conferindo-lhes maior resistência e beleza, protegendo-os contra a corrosão e alterando suas dimensões (MAGARIFUCHI, et. al., 2007). A

galvanoplastia teve início como ramo da ciência através dos trabalhos do físico e químico Italiano Luigi Galvani (1737 – 1798), que descobriu o galvanismo e publicou a descrição de uma série de novos fenômenos, dentre eles a eletricidade na contração muscular (MARTINS, 1999).

A galvanoplastia é um processo no qual se consegue a deposição de uma camada metálica com a utilização de processos eletroquímicos, seja a superfície metálica ou não, com o emprego de uma voltagem de fluxo baixo de corrente elétrica, que faz com que os íons presentes na solução se movimentem e se depositem sobre a superfície na qual se deseja proteção (ZOLDAN, 2010).

A tecnologia de tratamento de superfície, não é de hoje, já atingiu a maturidade naquilo que ela tem como objetivo principal: o combate à corrosão em aplicações metálicas e a qualidade do acabamento estético.

Este trabalho tem como objetivo aplicar e avaliar, em escala laboratorial, a deposição de múltiplas camadas, por meio de processo eletrolíticos, para a proteção de peças em alumínio, a fim de evitar que ocorra o processo de corrosão.

2. PROCESSOS ELETROQUÍMICOS (ELETROLÍTICOS)

Uma reação eletroquímica é um processo químico heterogêneo (que envolve uma interface sólido/solução) envolvendo a transferência de cargas para um eletrodo ou de um eletrodo, geralmente um metal ou semicondutor, através de uma corrente finita, envolvendo assim a passagem de íons e/ou elétrons. Como o material utilizado é metálico, essa passagem ocorre, gerando assim uma reação eletroquímica (WOLYNEC, 2003).

No processo de corrosão eletroquímica, os elétrons são transferidos indiretamente, ou seja, são conduzidos através da superfície do sólido (metal ou filme) até um ponto onde são recebidos pelo elemento do meio (oxidante). Nesse caso, o doador e o receptor encontram-se em lugares diferentes. Esse processo faz com que haja a geração de corrente elétrica na interface sólido/meio corrosivo. A região onde ocorre oxidação é chamada de ânodo, e aquela em que os elétrons são consumidos denomina-se cátodo (GEMELLI, 2001). O processo descrito acima está na representado na figura 1.

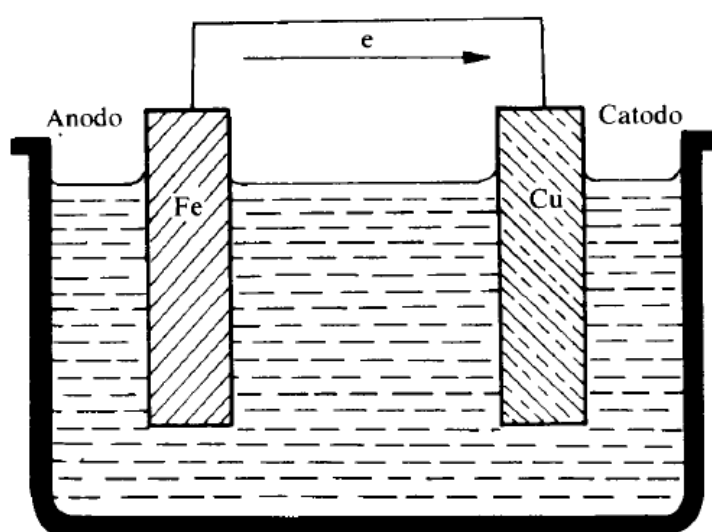


Figura 1 – Representação de uma pilha galvanica (In: GENTIL, 1996, p.29)

Normalmente nas reações eletroquímicas os íons se movimentam em meio aquoso, contudo em reações de oxidação não se tem eletrólito líquido e o movimento de íons ocorre através da película de óxido metálico que se forma na superfície do metal (WOLYNEC, 2003).

3. OS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

Segundo Bos (2013a), os mais discutidos processos de tratamento da superfície atualmente, falam sobre um bom pré-tratamento de limpeza da superfície, na qual serão depositados os materiais, pois o sucesso da resistência à corrosão está no bom preparo do metal base.

3.1 CORROSÃO

A corrosão é o fenômeno de deterioração com perda de material devido a modificações químicas e eletrônicas que ocorrem por reações com o meio ambiente. A corrosão provoca a falha direta dos metais quando em serviço e os torna suscetíveis de romper por algum outro mecanismo (LORENTZ, 2012).

Corrosão pode ocorrer por diversos meios tais como: corrosão atmosférica, corrosão pelo solo, corrosão em meio aquoso e corrosão em ácidos inorgânicos.

O ferro e suas ligas são os materiais de construção mecânica de maior importância e também os mais sujeitos e mais sensíveis a ação do meio corrosivo. Desta forma, os fenômenos relacionados com a corrosão do ferro sejam os mais estudados e os mais conhecidos (LORENTZ, 2012).

Os processos de corrosão são considerados reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas que se passam geralmente na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo. Considerando-se como oxidação-redução todas as reações químicas que consistem respectivamente em ceder ou receber elétrons, pode-se afirmar que os processos de corrosão são reações de oxidação dos metais, isto é, o metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma substância, o oxidante, existente no meio corrosivo (GENTIL, 1996).

3.1.1 Tipos de Corrosão

O processo de corrosão pode ocorrer de diversas maneiras, como: corrosão uniforme ou ataque generalizado, corrosão galvânica, corrosão por depósito, corrosão localizada, corrosão intergranular, corrosão seletiva, corrosão por erosão, corrosão sob tensão e corrosão por ação do hidrogênio (WOLYNEC, 2003).

A corrosão galvânica ocorre devido à diferença de potencial que existe entre dois metais diferentes e que sejam mergulhados numa solução corrosiva ou condutora, ou seja, do ânodo (maior potencial) para o cátodo. A corrosão galvânica (figura 2) se processa pela dissolução do material do ânodo e produção de hidrogênio no cátodo, a corrosão acontece no anodo (OLIVEIRA, 2012).

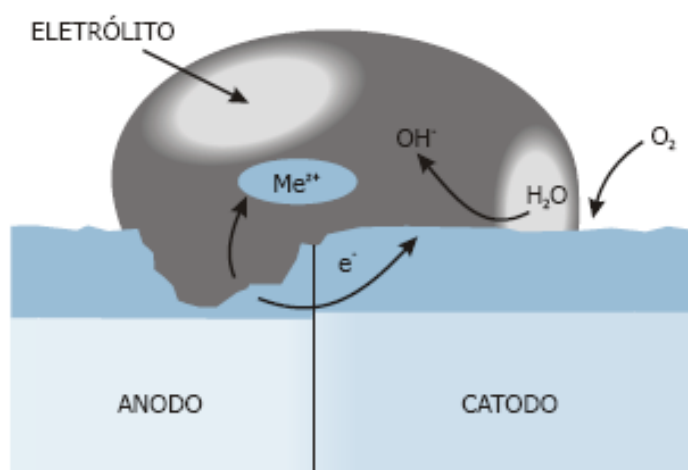


Figura 2 - Mecanismo básico da corrosão (In: PANNOMI, 2004, p. 27)

Uma consequência das reações eletroquímicas no processo de oxidação básicas é a precipitação do produto marrom. Trata-se de um produto final do processo corrosivo, mais conhecido como ferrugem (WOLYNEC, 2003). No caso do alumínio, este produto final é denominado oxidação branca (figura 3), devido ao alumínio formar um óxido. Segundo Zoldan (2010, p. 52), “empregamos como exemplo a zincagem, que, além de barreira física contra o meio ambiente, também realiza uma proteção catódica (age como anodo de sacrifício)”.



Figura 3 - Imagem representando oxidação branca

3.1.2 A influência do meio no processo de corrosão

Segundo Gentil (1996, p.5), o material em contato com o meio reage por meio de interação química, também denominada eletroquímica, gerando assim o produto final, neste caso a corrosão, processo este que causa dissipação de energia (figura 4).



Figura 4 - Esquema representativo do processo de corrosão (In: Gentil, 1996, p. 5)

O meio influencia a intensidade de ataque do metal menos nobre, no grau de proteção do metal mais nobre, na extensão da ação galvânica em termos de área atingida e também determina qual metal será anodo e catodo (podendo haver inversão de polaridade) (LANGER, 2013).

Tendo o objetivo de proteger catodicamente uma peça de alumínio, deve-se eliminar por meio de processo artificial, as áreas anódinas da superfície do metal, fazendo com que a estrutura, neste caso o alumínio, adquira comportamento catódico (GENTIL, 1996).

Ainda segundo Gentil (1996, p.271), o eletrólito em contato com a superfície metálica, torna-se mais básico, isso ocorre porque os íons hidrogênio sofrem redução, ou há a redução do oxigênio. No caso do alumínio, há a elevação do pH decorrente da formação de hidroxila pela formação de oxigênio, que irá produzir uma solução que ataca o alumínio. A equação que representa esta reação é (figura 5):

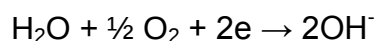
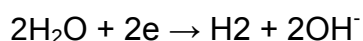


Figura 5 – Equação de redução do oxigênio e do hidrogênio (In: GENTIL, 1996, p. 201)

Na figura 6, tem se uma representação da ação da corrosão em uma liga de alumínio.

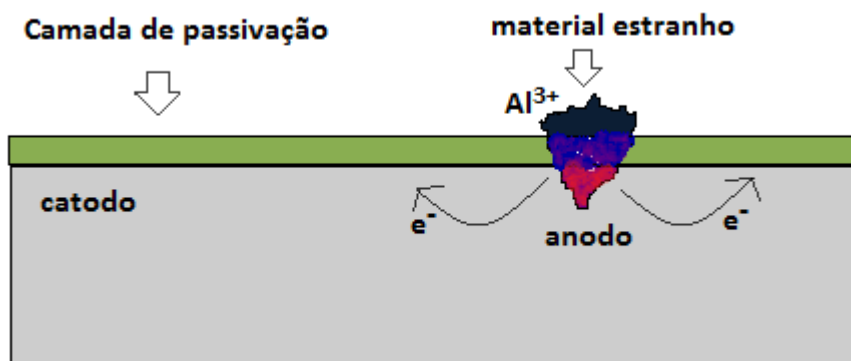


Figura 6 - Esquema representativo da ação da corrosão em uma liga de alumínio (Adaptado de: GENTIL, 1996, p.74)

O exemplo representado na figura acima é da ação da corrosão em uma liga de alumínio, com uma camada de proteção (passivação), camada esta que tem menor potencial elétrico (catodo). Nesta camada, o material estranho, no caso o meio ao

qual a liga está inserida, reage com a superfície, atacando a camada de proteção e ocorre a corrosão da liga de alumínio, anodo, o qual tem maior potencial elétrico. A destruição da passividade também pode ocorrer por meio de riscos na camada de óxido, assim como depósitos de materiais sobre a superfície passivada, tornando a região anódica (figura 7).

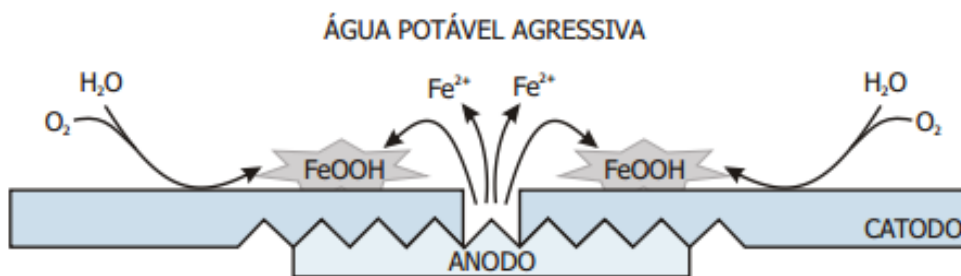


Figura 7 - Esquema representativo das diversas formas de oxidação (Adaptado de: PANNOMI, 2004, p. 28)

3.2 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES DOS METAIS

Como os metais estão sujeitos a corrosão, faz-se necessário os processos de tratamento dos metais. O tratamento vem subsidiado pelo pré-tratamento para a eletrodeposição, sendo que a eletrodeposição tem a função de não deixar que o metal sofra com a corrosão (LANGER, 2013).

3.2.1 Pré-tratamento para a eletrodeposição

Antes do tratamento por meio de eletrodeposição, faz-se necessário que ocorram os pré-tratamentos, para que assim, possamos obter um produto com qualidade. Neste trabalho emprega-se pré-tratamento mecânico (lixamento, polimento em rodas de sisal, polimento em rodas de algodão plissado e polimento em rodas de algodão).

3.2.1.1 Pré-tratamento mecânico

Para um bom resultado, várias etapas devem ser cumpridas, inicialmente trabalha-se a limpeza do metal base, a qual ocorre por meio de um pré-tratamento mecânico, sendo este por lixamento ou esmirilamento dependendo do metal base, seguido de polimento em discos de diferentes tipos de tecidos, com uso de massas especiais que propiciam o espelhamento do metal base e a retirada da rugosidade que impede a eletrodeposição de atingir seu grau máximo de nivelamento (MENEHES, 2006).

O lixamento (figura 8 A e B) é a etapa na qual são eliminadas as marcas de corte do material, como também riscos causados por torneamento, por fresa ou por manipulação das peças (FIGUEIREDO, 2000).

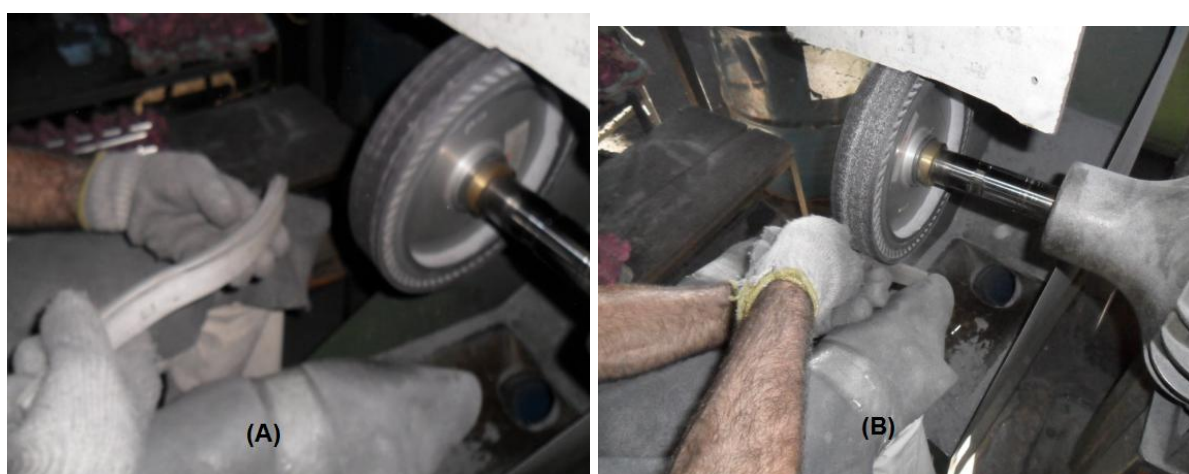


Figura 8 – Posicionamento da peça para a etapa de lixamento do alumínio (A); lixamento da peça de alumínio (B)

O polimento, processo este, semelhante à lixagem, também faz parte do início do processo de pré-tratamento. Pode também ser utilizado como operação de acabamento. Os métodos utilizados podem ser: mecânicos, químicos, eletroquímicos e mistos, destinando-se a desbastar as peças, visando diminuir a rugosidade superficial das peças e, melhorar as propriedades para uma função

específica e dar brilho, neste caso em peças de alumínio (FIGUEIREDO, 2000, p. 12).

Polimento é uma das operações na qual a superfície da peça de alumínio é modificada mecanicamente pelo atrito de abrasivos. Com o objetivo de diminuir a rugosidade e conferir um acabamento brilhante e uniforme ao longo de toda a peça. Esta etapa remove muito pouco material, buscando apenas melhorar a aparência, indo desde um aspecto final semibrilhante até o espelhado (MENEHES, 2006).

3.2.1.1.1 Polimento Mecânico

O polimento mecânico subdividi-se em dois tipos, o polimento em disco de tecidos especiais em tela de sisal, polimento em roda de algodão plissada e o Polimento em Discos de algodão. Os discos usados no polimento precisam ser pressionados contra a superfície da peça ou chapa com uma força adequada. Para isso, os abrasivos presentes na massa de polimento são utilizados com os discos e as rodas. Discos e rodas são, basicamente, tecidos cortados e montados sobre os eixos das politrizes. Sendo que as rodas são compostas inteiramente de tecido, enquanto os discos são fabricados com o centro composto por peças como anel metálico, grampos cobreados, garras metálicas, papelão ou ainda outros materiais que não o tecido (ROHDE, 2010).

São utilizadas massas para a afinação das peças de metal, estas massas são constituídas por misturas de cola, grãos abrasivos e produtos químicos para secar e endurecer, podendo ser utilizadas em quase todos os tipos de roda com uma velocidade de operação entre 1.500 a 1.800 rpm. As massas utilizadas para polimento são constituídas basicamente pelo ligante, responsáveis pelo efeito de lubrificação e aderência, e o abrasivo. Para a utilização destas massas sólidas friccionam-se as barras nos discos ou rodas em movimento, o atrito causará um aquecimento que fundirá o composto, fixando-o nas fibras dos tecidos (FODRA FILHO, 1997).

Com o polimento espera-se que as superfícies das peças, fiquem isentas de riscos, com acabamento uniforme ao longo de toda a superfície, com a eliminação dos

vestígios de etapas anteriores de processamento (estampagem, tratamento térmico, soldagem), e ainda visa a eliminação de arranhões por manuseio inadequado (ROHDE, 2010).

3.2.1.1.1a Polimento em disco de tecidos especiais e corda de sisal

Um dos tipos de discos de tecidos ao qual a peça é submetida, é o disco de tecido com fibras de sisal. A fibra de sisal é uma fibra de cânhamo (planta usada para a obtenção da fibra de sisal) extremamente dura, eficiente na remoção de defeitos de superfície. Podem ser usados combinados com tecidos, conhecido como transisal (FODRA FILHO, 1997).

Ainda segundo Fodra Filho (1997, p. 17), a massa utilizada com a roda de sisal é uma massa sólida ou líquida, neste caso utiliza-se apenas a sólida, com alumina ou com bauxita, sendo aplicada no disco de sisal costurado, as quais são utilizadas a uma velocidade periférica de 2.400 a 2.700 m/min.

O polimento em discos de tecidos consiste na etapa na qual é feito o polimento bruto, em busca de retirar das peças os riscos causados pelo lixamento, ocasionando o nivelamento da superfície do metal (figura 9 A, B, C e D). Como observado na figura 9 D, utiliza-se em cada etapa sebo para fixação das massas de polimento nos discos.

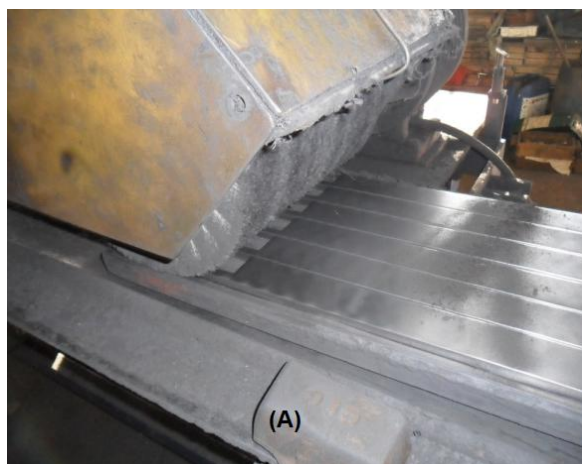




Figura 9 - Máquina de polimento semiautomático (A); Roda de sisal (B); Superfície polida (C); Barra de sebo utilizado para fixar a massa na roda (D)

3.2.1.1.1b Polimento em roda de algodão plissada

Os discos são chamados de plissados quando se produz pregas regulares e uniformes e caracterizam-se por serem rígidos e pouco flexíveis, indicados para acabamento de superfícies lisas. Sendo que, apesar de existirem outros tipos, os discos ventilados e os plissados são considerados universais, pois se adaptam a quaisquer tipos de metais (FODRA FILHO, 1997).

Nessa etapa, graças ao polimento em roda de algodão plissada (figura 10), as peças já se encontram sem marcas profundas e ganham um acabamento mais fino, o qual deixa a camada do metal mais lisa (figura 11).

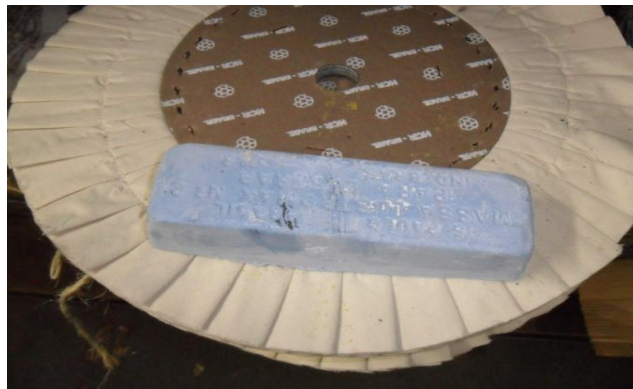


Figura 10- Roda e massa utilizada para o polimento

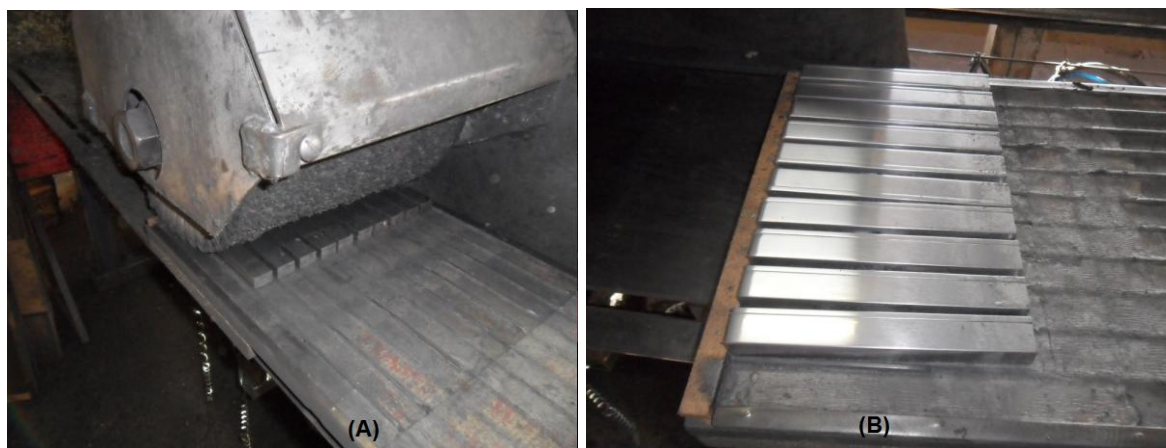


Figura 11 - Segunda etapa do polimento, com rodas de algodão plissadas (A); Superfície do metal polido (B)

3.2.1.1.1c Polimento em Discos de algodão

Os discos, quando fabricados de modo a aparecerem rugas pela dobra do tecido, são chamados de ventilados. Essas rugas, além de proporcionarem maior rigidez e melhor ventilação, atuam como captadoras de material abrasivo. Para eliminação de riscos é utilizado o disco ventilado de face aberta, que é mais encorpado, com maior resistência à compressão, com rigidez constante ao longo de todo o corpo. Já o disco ventilado de face fechada, mais macio e flexível, é geralmente empregado para acabamento final de alto brilho (FODRA FILHO, 1997).

Fodra Filho (1997, p. 17) diz ainda que para acabamento de alto brilho utiliza-se massa sólida ou líquida de alumina calcinada, a qual é aplicada em roda de tecido com uma costura, com velocidade periférica de 2.100 a 2.700 m/min.

O polimento em disco de algodão proporciona brilho e total nivelamento, causando um efeito espelhado à peça (figura 12 A, B, C e D).

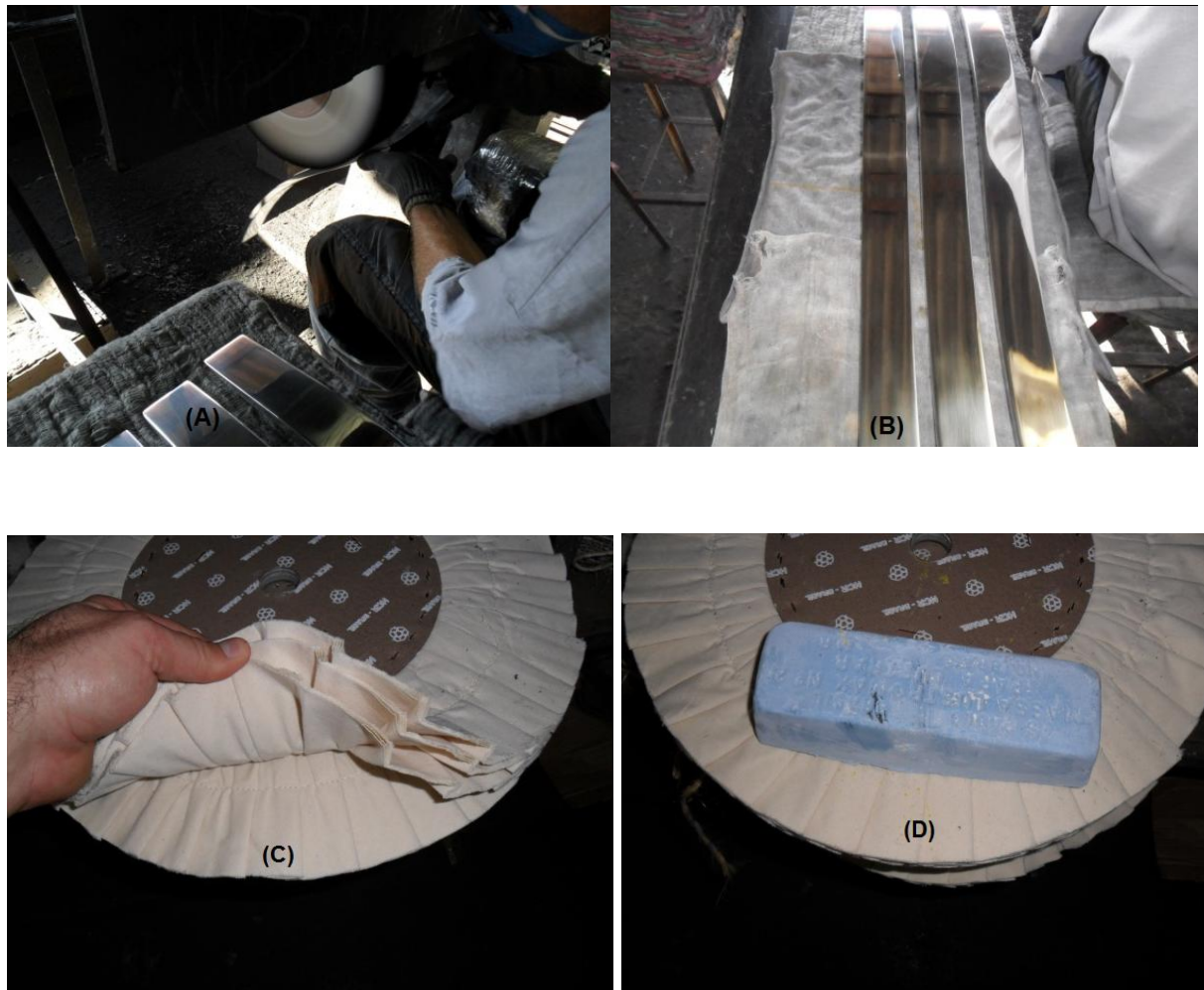


Figura 12 - Foto do polimento final (A); superfície das peças espelhadas (B); disco de algodão utilizado na ultima etapa de polimento (C); Massa de polimento (D)

3.2.1.2 Pré-tratamento químico

Sabendo que impureza é tudo o que pode interferir no processo e na qualidade da proteção, faz-se necessário o pré-tratamento químico. No metal aderem impurezas que prejudicam o processo de deposição de camadas. As impurezas podem ser divididas em: Impurezas oleosas, impurezas semissólidas, impurezas sólidas, ou óxidos e produtos de corrosão (OLIVEIRA, 2012).

3.2.1.2.1 Uso de desengraxantes na limpeza do metal

Nesta etapa, utilizam-se os desengraxantes, os quais podem ser: desengraxante químico, desengraxante eletrolítico, ou desengraxante pelo sistema de ultrassom; sendo que este deve ser um bom produto, para que não deixe manchas na superfície do metal, a fim de que as camadas metálicas possam ser perfeitamente depositadas (ARAÚJO, 2006).

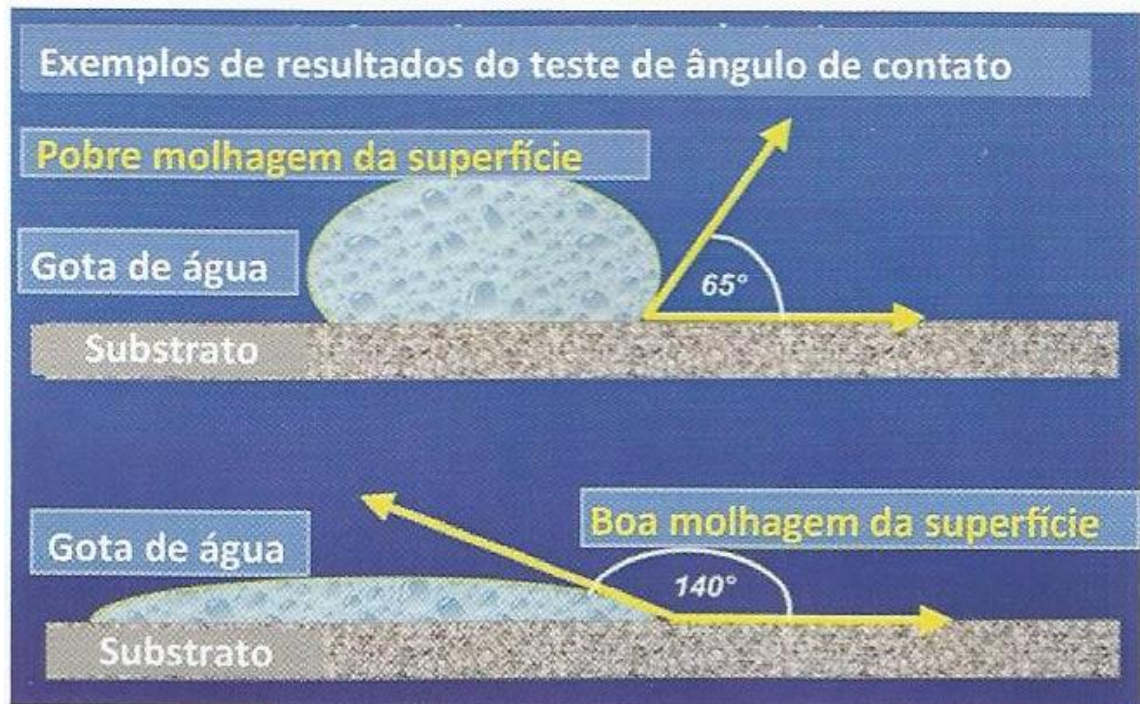
Dependendo do resultado que se espera utiliza-se os desengraxantes seguintes, combinados de maneira que supram os diferentes níveis de limpeza das peças.

3.2.1.2.1a Desengraxante Químico

Solução de tensoativos industriais com alcalinidade baixa, que é aplicada na limpeza da superfície do alumínio, para que possa remover a sujidade do polimento sem afetar a qualidade do metal base alumínio. Atualmente os produtos são ambientalmente corretos, livres de solventes clorados que são perigosos aos operadores, são exemplos os tricloretileno e o percloroetileno, produtos líquidos absolutamente tóxicos, e com cheiro forte (D'AMARO, 2006).

Os melhores desengraxantes do mercado tem seu princípio de limpeza, baseado em diversos mecanismo de limpeza, como molhagem, emulsificação, solubilização, saponificação e dispersão (FIGUEIREDO, 2000, p. 13).

Na molhagem a utilização de agentes tensoativos faz com que o desengraxante penetre na sujidade e reduza a ligação com o substrato, diminuindo a tensão superficial e interfacial, a figura abaixo mostra o exemplo da redução da tensão superficial da sujidade aderida na superfície (figura 13) (BOS, 2013a).



**Figura 13 – Redução da tensão superficial da sujidade aderida na superfície
(In: BOS, 2013a, p. 34)**

A emulsificação é o processo químico ao qual o surfactante penetra na sujidade e as dividem em minúsculas gotículas, pequenas o suficiente para permitir a dispersão e suspensão na solução, chamadas de micelas. A figura 14 mostra como a ação do desengraxante, faz com que a sujidade solte do alumínio e forme as micelas de óleo e água (BOS, 2013a).

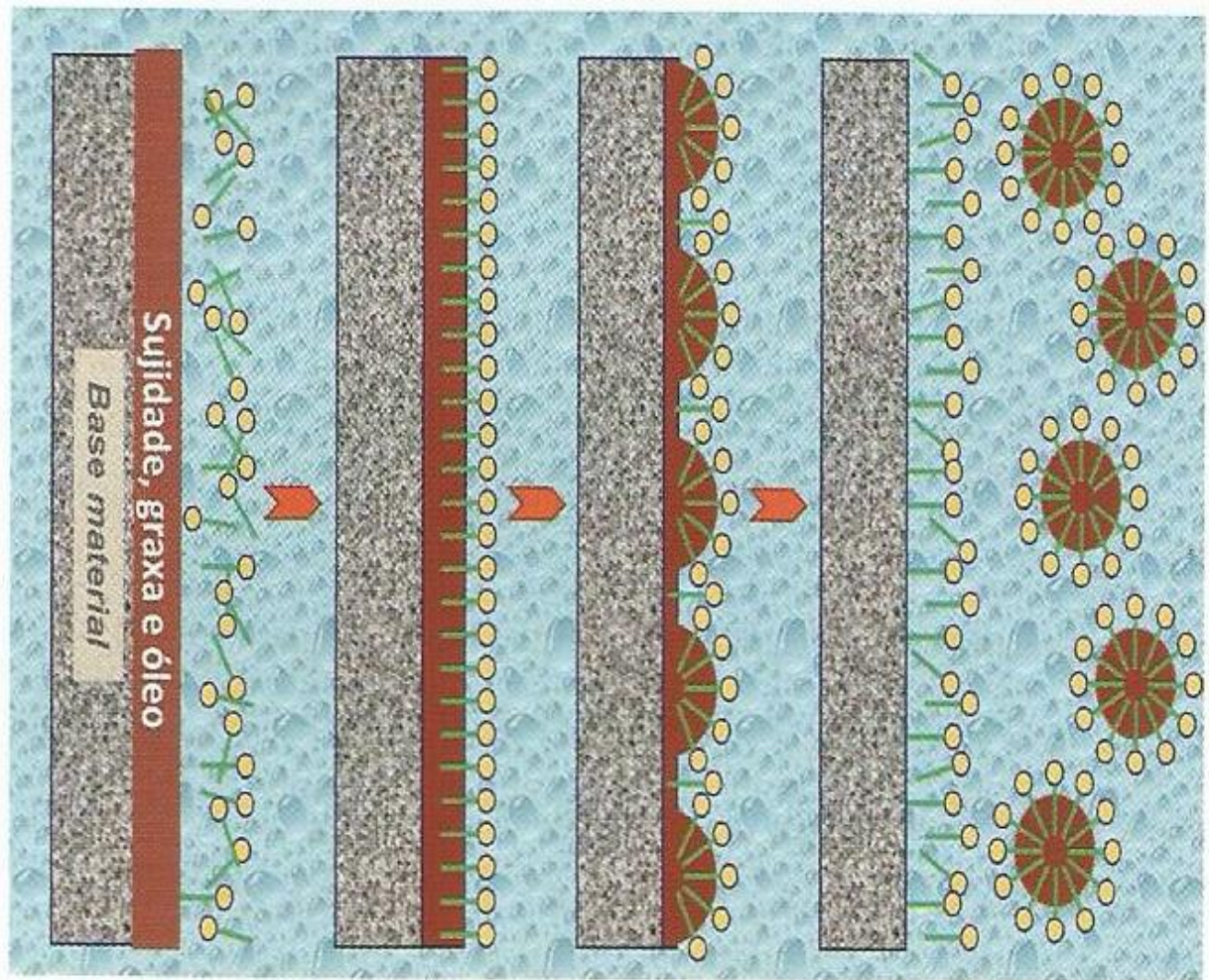


Figura 14 – Formação de mistelas de óleo em água (In: BOS, 2013a, p. 34)

A Solubilização é definida quando toda a sujidade da peça é dissolvida na solução de limpeza.

A dispersão (desfloculante) é um método no qual as partículas sólidas solúveis são divididas em pequenas partículas dispersas por ação dos componentes do desengraxante, sendo muito eficaz na remoção das massas de polimento. A figura 15 mostra como ocorre esse tipo de limpeza (BOS, 2013a).

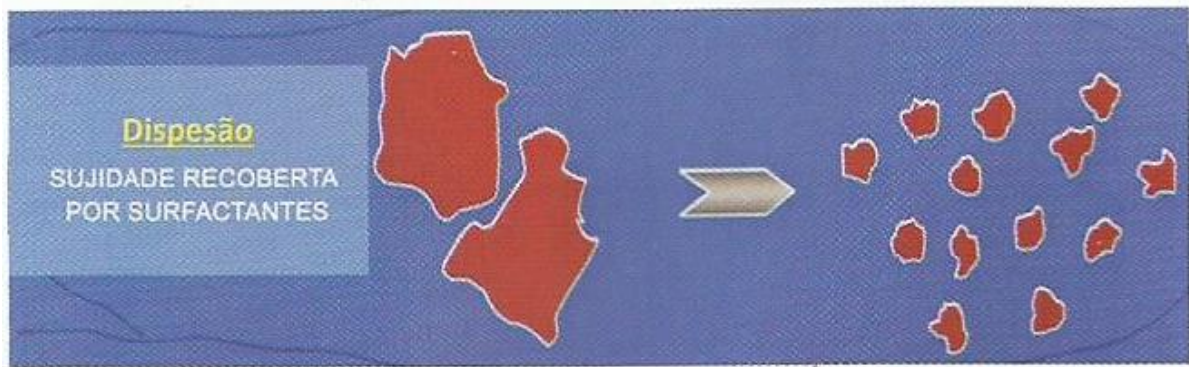


Figura 15 – Princípio da limpeza por dispersão (In: BOS, 2013a, p. 35)

3.2.1.2.1b Desengraxante eletrolítico

É uma etapa complementar de limpeza ao processo de desengraxante por imersão, aos quais devem ter características bem diferentes, pois os desengraxantes por emersão devem ter boa capacidade de emulsão e de molhagem, os desengraxantes eletrolíticos devem ser de alcalinidade alta, e ter pouco ou nenhum surfactantes, dentro de uma escala que não ataque o metal base no caso o alumínio (BOS, 2013a).

Os desengraxantes eletrolíticos podem ser:

- Anódicos (Reversão)- Onde à liberação de O_2 gera um efeito mecânico de esfrega da superfície, e a peça estando carregada positivamente possibilita ao desengraxante remover sujidades condutoras eletroliticamente, como partículas metálicas (D'AMARO, 2006).
- Catódicos – A geração de gás na solução durante a eletrólise que ocorre por causa da dissociação da água conforme a reação abaixo (figura 16).

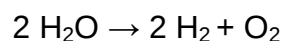


Figura 16 - Reação de formação de hidrogênio e oxigênio (D'AMARO, 2006, p. 45)

Tem-se no exemplo da figura 16, uma mostra de uma evolução de hidrogênio sendo o dobro da evolução do oxigênio, surtindo um efeito de esfregação mecânica no catodo duas vezes maior que no anodo, produzindo assim uma limpeza direta, ainda impedindo a formação de óxidos na superfície do alumínio, pelo fato do hidrogênio ser um redutor (D'AMARO, 2006).

3.2.1.2.1c Desengraxante pelo sistema de Ultrassom

O desengraxante pelo sistema de ultrassom tem as mesmas finalidades dos desengraxantes eletrolíticos, contudo sendo este o mais eficiente dos sistemas, pois é transmitido por ondas com frequências acima dos limites audíveis ao ser humano. A limpeza ultrassônica ocorre basicamente pela imersão da peça de alumínio em um desengraxante próprio para alumínio, se fazendo passar por esse líquido a energia ultrassônica, que por sua vez gera a cavitação. A cavitação é a geração de milhões de microbolhas de vácuo no meio líquido que destroem a partícula de sujeira. Este processo é capaz de remover os mais diversos tipos de sujidades orgânicas e inorgânicas, tais como: óleos, graxas e massas de polimento. Sua principal vantagem é conseguir, com um tempo mínimo, limpeza com alto grau de eficiência, sem necessidades de trabalhos manuais e sem agredir o metal base, no caso o alumínio (D'AMARO, 2006).

O uso da frequência é de acordo com a sujeira das peças, pois quanto maior a frequência menor é o tamanho das bolhas, e menor o potencial de remoção da sujeira. A figura 17 demonstra essa relação de variação da frequência e formação das bolhas.

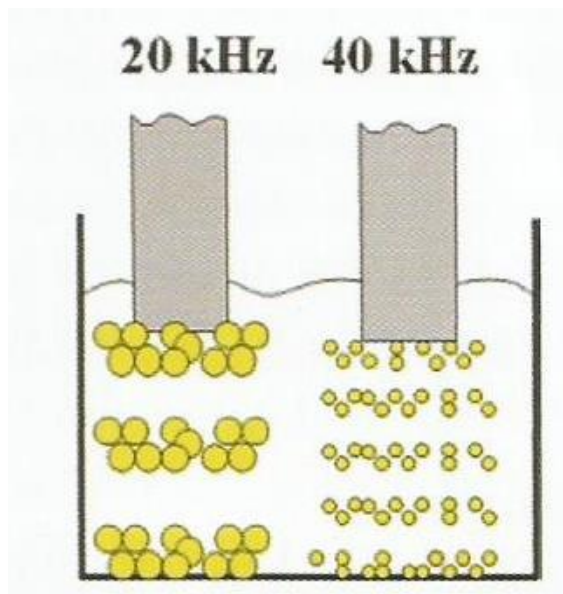


Figura 17 – Esquema representativo da variação da frequência e formação de bolhas (In: BOS, 2013a, p. 35)

As bolhas só se formam pelo fato da cerâmica piezoelétrica, ser a fonte do ultrassom e ter a capacidade de transformar energia elétrica em energia mecânica (BOS, 2013a).

3.2.1.2.2 Ativação ácida

A ativação ácida, também denominada decapagem ácida, tem como objetivo remover carepas de laminação, óxido ou outros compostos produzidos pelo aquecimento produzido pelo processo de usinagem ou corrosão, porém, é preciso cuidado com a ativação química da superfície (OLIVEIRA, 2012).

A ativação ácida ocorre por meio da mistura de três ácidos, conhecida como mistura tri-ácida, constituída pela mistura dos ácidos nítrico, sulfúrico e sal ácido (bi fluoreto de amônio), tem por finalidade eliminar um filme de oxidação que se forma no alumínio. Como o alumínio é muito reativo com o ar, uma vez que desengraxado (desengordurado) começa a reagir com o oxigênio do ar, formando uma camada de óxidos, que precisa ser retirada da superfície para que as camadas subsequentes possam ser depositadas. As funções de cada ácido na mistura tri-ácida são:

Fluoretos livres (provenientes do Ácido Fluorídrico ou compostos de sais que contém fluoretos) tem a função de dissolver silício existente na superfície da peça de alumínio.

Nitratos (provenientes do Ácido Nítrico) tem a função de dissolução do cobre existente na superfície intermetálica, e em conjunto com o fluoreto auxilia uma melhor dissolução do silício quando sua presença é alta na liga de alumínio.

Sulfatos (proveniente do Ácido Sulfúrico) em conjunto com nitratos e fluoretos promove a dissolução de magnésio. Quando a liga não possui magnésio auxilia na remoção do filme de proteção deixado pelo desengraxante, como também na ativação do alumínio em conjunto com os outros ácidos (GENTIL, 1996).

Atualmente utiliza-se a uma ativação ácida eletrolítica que, além de “ativar” a superfície do níquel, auxilia também na penetração do depósito de cromo nas regiões de mais baixa densidade de corrente (MILLEN JR; SILVA, 2010).

3.2.2. Deposição do zincato no alumínio (Mordente)

Tem como finalidade produzir um filme de zinco sobre a superfície do alumínio. Uma vez que o alumínio é trivalente, não é possível depositar direto na sua superfície metais bivalentes como cobre, níquel e outros. Uma vez que o óxido é removido, uma camada fina de zinco é depositada sobre a superfície de alumínio (BARNSTEAD, 2012).

Segundo Pessoa e Spina (2006, p. 18), zincato “é uma solução especialmente formulada para aplicação de um filme de zinco, usado para ativar o alumínio prévio à deposição em banhos eletrolíticos, evitando a formação de óxidos que comprometem a aderência”.

3.3 ELETRODEPOSIÇÃO DE CAMADAS

A eletrodeposição de metais envolve a formação de uma nova fase-eletroquímica e o seu crescimento, na qual as principais etapas são os fenômenos interfaciais, tais como o transporte de massa da superfície do anodo para a superfície do catodo. Devido a transferência de elétrons e a adsorção, ocorre a ativação de núcleos (ou nucleação), assim fixam os metais sobre as peças, fazendo com que se obtenha as multicamadas protetivas (LISBOA; BARIN, 2009).

Conforme já abordado anteriormente, no processo de eletrodeposição em camadas, após a limpeza, o metal base deve passar por uma ativação, para garantir a eliminação de óxidos formados sobre a superfície do metal, então se aplica como camada base uma camada de zincato, solução de zinco que possibilita a deposição de camadas como cobre alcalino, sendo que o cobre alcalino é uma solução de cianeto de cobre (30 g/L), cianeto de potássio (59g/L) ou cianeto de sódio (48g/L) – servindo como uma camada protetora contra a acidez do banho seguinte, o cobre ácido, que normalmente é aplicada para proteger o metal base do ataque químico.

“A camada eletrodepositada tem por finalidade a aparência estética da peça ou a resistência à abrasão, corrosão, entre outros, servindo de barreira física para uma superfície metálica, denominada substrato, e o meio corrosivo” (LISBOA; BARIN, 2009, p. 28).

3.3.1 A aplicação da eletrodeposição para feitos decorativos

Para o tratamento de peças metálicas decorativas, seguindo o ideal da deposição de várias camadas como protetores contra a corrosão, segue o esquema a seguir representa o processo de eletrodeposição. Nesta figura observa-se o tratamento a ser realizado nas peças, incluindo os pré-tratamentos já discutidos anteriormente (figura 18).

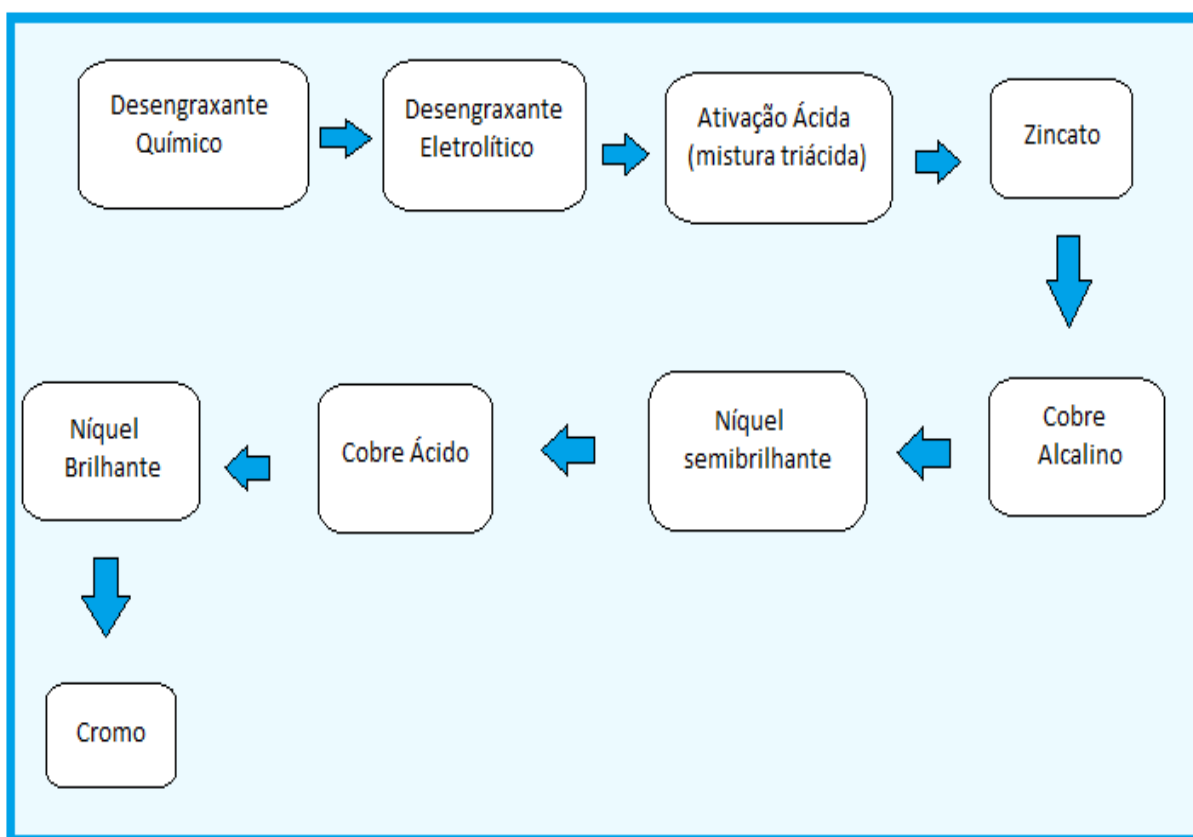


Figura 18 - Esquema sequencial do processo de eletrodeposição

O presente trabalho refere-se a peças decorativas, sendo assim, os tempos necessários para cada camada a ser depositada eletroliticamente nas peças de alumínio, são determinados com base em tabelas de eletrodeposição em peças automobilísticas. A indústria automobilística exige maior resistência em sua peças, devido ao grau de exposição destas ser maior do que quando comparado com peças decorativas, neste caso do setor moveleiro/ arquitetônico. Portanto adapta-se os tempos de eletrodeposição descritos nas tabelas dos manuais ou boletins técnicos de tratamento de superfície.

Segundo Sillos (2012), para os desengraxantes químicos utiliza-se de 1 a 3 minutos, na ativação ácida (mistura triácida) de 1 a 2 minutos, no zincato 0,5 a 2 minutos, no níquel semibrilhante de 10 a 20 minutos, no cobre ácido o tempo de 30 minutos, no níquel brilhante de 10 a 15 minutos e no cromo 3 minutos.

3.3.1.1 Cobre alcalino

Um cobre alcalino com cianeto é composto de cianeto de cobre, cianeto de sódio ou potássio, com ou sem soda ou potassa cáustica. Utilizado para diversas aplicações como zamac, ferro, latão e alumínio (quando utilizado com zincato). É um banho básico (LANGER, 2013).

Segundo Cunha et. al. (2014, p. 259):

A eletrodeposição de cobre e suas ligas a partir de soluções alcalinas cianetadas é amplamente empregada na indústria para obtenção de camadas de cobre de alta qualidade sobre substratos ferrosos e não ferrosos. O interesse por novos processos de eletrodeposição de cobre isento de íon cianeto tem mostrado um aumento nas pesquisas desde 1980, devido à implantação de novas normas ambientais e imposições de novas condições de segurança, até os dias atuais.

Embora citado como parte integrante do processo de eletrodeposição em alumínio para fins decorativos, o cobre alcalino não foi utilizado no processo por questões de riscos ambientais e à segurança no trabalho.

3.3.1.2 Cobre ácido

Ficou conhecido historicamente, o cobre na aplicação de eletrodeposição como revestimento alternativo: surgiu em substituição a escassez de níquel. A presença do cobre é conveniente, pois o cobre é mais resistente a corrosão que o níquel em certas situação, situações estas em que há a presença de dióxido de enxofre, como em atmosferas industriais e urbanas (SCARAZZATO, 2013).

O eletrólito de cobre ácido tem valência 2, a solução é azul, deposita 1,18 gramas por 1 ampère-hora, tem um rendimento de deposição de 98 – 100%. O cobre ácido é um banho formado por 200 gramas de sulfato de cobre por litro de solução, 80 gramas de Ácido Sulfúrico por litro e 100 ppm/L de ions cloreto, o sulfato e o

sulfúrico são responsáveis pela condutividade elétrica enquanto os ions cloreto tem atuação junto com os aditivos para proporcionar nivelamento e bilho as peças já que os ions cloreto funciona como um despolarizador, em conjunto com os anodos fosforizados (0,03 – 0,06 % de P). Mais a adição de aditivos abrillantadores, niveladores e molhadores, se obtem uma camada altamente brilhante, ductil e de baixo custo (LANGER, 2013).

O cobre, nas suas diferentes formas, é um metal muito utilizado na galvanoplastia, pelo fato de também ser um bom condutor elétrico e ter boa capacidade de deposição. Quando exposto ao oxigênio do ar, o cobre forma uma película de óxido, sendo esta a forma mais estável do metal (quando o oxigênio não reage mais com o metal ou não conseguindo mais reduzi-lo). Quando aplicado na forma de múltiplas camadas, tem um potencial elétrico anticorrosivo pela sua diferença de potencial elétrico, fazendo com que a corrosão atmosférica pare entre as multi camadas, impedindo que a corrosão chegue até o metal base, pela forma de anodo de sacrifício, evitando assim sua corrosão (GENTIL, 1996).

3.3.1.3 Aplicação de Níquel

Atualmente, utiliza-se uma camada de níquel semibrilhante, que com a sobreposição do níquel brilhante, forma uma espécie de pilha que neutraliza a ação da corrosão, isto porque os agentes corrosivos logo se espalham entre as camadas de níquel e impedem que a mesma migre em sentido ao metal base (BOS, 2013b). Na figura 19, pode-se observar por meio de esquema representativo, a ação da corrosão perante a dupla camada de níquel.

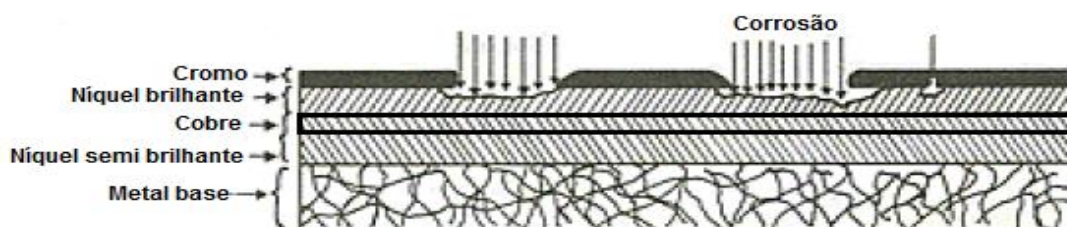


Figura 19 - Esquema representativo da eficiência da aplicação da dupla camada de níquel (Adaptado de BOS, 2013b)

Segundo Bos (2013b), o sistema bi-níquel sofre ação de retardamento à corrosão devido ao sistema de aditivos para os banhos de níquel semibrilhante, que são formulados de forma que o teor de enxofre da camada de níquel eletrodepositada, esteja próximo de 0,05%. Já o teor de enxofre da camada de níquel brilhante fica em torno de 0,5 a 1 %.

A corrosão ocorre inicialmente na camada de níquel brilhante, na qual se processa lateralmente, e somente após ultrapassar esta camada a corrosão atinge a camada de níquel semibrilhante. A penetração na camada de níquel semibrilhante somente se processa quando uma grande área de níquel brilhante é corroída (BOS, 2013b).

O níquel é frequentemente aplicado sobre cobre e suas ligas e sob cromo para um acabamento decorativo e o brilho do depósito dispensa polimento posterior. O revestimento pode ser aplicado como simples ou multicamadas. O depósito em multicamadas exige cuidados para garantir a aderência entre elas e apresenta uma ótima resistência à corrosão (BENVENUTI, 2012).

O níquel é um material protetor de grande importância, devido às suas propriedades físicas e químicas, que conferem a peça uma excelente proteção e proporcionam uma ótima base para posterior cromação.

Segundo Benvenuti (2012, p.6):

A niquelagem consiste na deposição eletrolítica de uma camada de níquel sobre um substrato. Uma corrente contínua é aplicada entre o ânodo (positivo) - de níquel eletrolítico com alto grau de pureza - e o cátodo (negativo). A condutividade entre os eletrodos é fornecida pela solução aquosa de sais de níquel. Quando os sais de níquel são dissolvidos em água, o níquel está presente na solução na forma de íons bivalentes, positivamente carregados (Ni^{2+}). Quando a corrente é aplicada, íons de níquel bivalente são convertidos a níquel metálico (Ni^0) que se deposita no cátodo. O oposto ocorre no ânodo, onde o níquel metálico se dissolve para formar os íons bivalentes (cátions).

A deposição metálica a partir de uma solução aquosa pode ser representada, de modo geral, pela seguinte reação (figura 20):

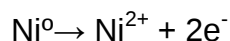


Figura 20 - Reação eletroquímica da deposição de níquel (BENVENUTTI, 2012, p. 6)

Os íons metálicos Ni^{2+} , carregados positivamente com a valência 2 que se encontram na solução, são transformados em átomos metálicos Ni^0 , após o recebimento de um número de elétrons correspondentes. Como átomos metálicos, sob certas condições, formam uma camada metálica sobre um objeto qualquer. (BEM, 2008)

Para o caso do níquel, temos a reação seguinte, representado na figura 21.

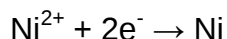


Figura 21 - Reação química do níquel (Adaptado de: BENVENUTTI, 2012, p. 6)

O metal, ao entrar em contato com a solução de níquel, por meio de processo eletroquímico, energizado através de um retificador, sofre reação, perdendo elétrons do anodo, que migram para o catodo, processo este que pode ser visualizado na figura 22.

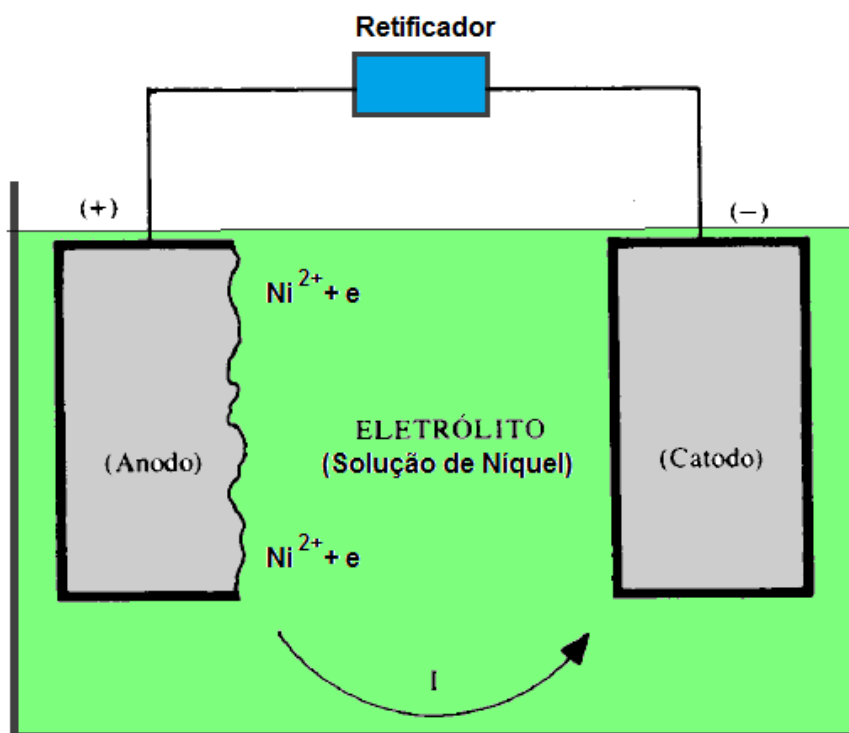


Figura 22 - Desenho esquemático de uma célula eletroquímica (Adaptado de: GENTIL, 1996, p. 270)

A quantidade de níquel que é depositada no cátodo é determinada pelo produto da corrente (em ampères) e o tempo (em horas), o cálculo é obtido pela Lei de Faraday (BENVENUTI, 2012).

Ainda segundo Benvenuti (2012, p.7):

Na prática, uma pequena porcentagem da corrente utilizada é consumida na reação de redução do hidrogênio no cátodo. Portanto, a eficiência do processo de deposição de níquel é menor que 100%, ficando numa faixa de 97%. Este fato deve ser levado em conta na estimativa de peso e espessura do níquel que será depositado sob condições práticas de eletrodeposição. O valor exato dependerá das condições de eletrodeposição: pH, corrente catódica e aditivos.

Sendo assim, sabe-se que o aproveitamento da corrente elétrica não é total devido a redução do hidrogênio do catodo.

3.3.1.4 Cromo

Na sequencia é aplicada a camada de cromo, metal duro com auto brilho, sem poros. É um metal branco brilhante, que com uma camada mais fina, várias vezes menor que as anteriores, propicia alta estabilidade com o ar atmosférico, pois se trata de um metal de grande facilidade em estabilizar no meio (MILLEN JR; SILVA, 2010).

Em peças de aço, ligas de zinco, ligas de alumínio e de cobre e suas ligas, podem ser tratadas com revestimentos múltiplos como os de cromo decorativo, que possuem a finalidade de aliar a resistência à corrosão ao aspecto decorativo (SCARAZZATO, 2013).

Ainda segundo Scarazzato (2013, p.22):

Uma camada de cromo de espessura 0,13 e 1,3 μm é depositada sobre níquel, conferindo à peça uma coloração azulada. Uma vez que este tipo de operação é empregado quando se deseja aumentar a resistência a corrosão, o revestimento deve ser isento de descontinuidades que exponham o substrato a ação atmosférica. Neste sentido, quando se deposita múltiplas camadas, diminui-se a probabilidade de haver coincidência entre os poros do diferentes revestimentos. Por consequência, dificulta-se o contato entre o metal base e a atmosfera. Além disso, no caso de corrosão por pites, a trajetória do pite na profundidade da peça cessará ao encontro com a camada mais nobre, que é depositada diretamente sobre o substrato, evitando que o pite o atinja.

A solução do banho de cromo é formada por uma solução de ácido crômico (CrO_3), também denominado anidrido crômico, solução esta, relativamente concentrada, quando dissolvido em água com uma pequena quantidade de catalisador. Tem-se a formação de H_2CrO_4 quando o composto é dissolvido em água, que se dissocia em íons cromato, CrO_4^{-2} , e íons de hidrogênio, H^+ (MILLEN JR; SILVA, 2010).

O cromo a ser utilizado no presente trabalho é o cromo hexavalente. O depósito de cromo hexavalente é uma liga de cromo metal e óxido de cromo na superfície, possui cerca de 10% de oxigênio atômico, aproximadamente 4,8% do peso do

depósito. Normalmente não há presença de outros metais na liga (BOS, 2013a, p. 39).

A reação que ocorre no banho de cromo está representada na figura 23.

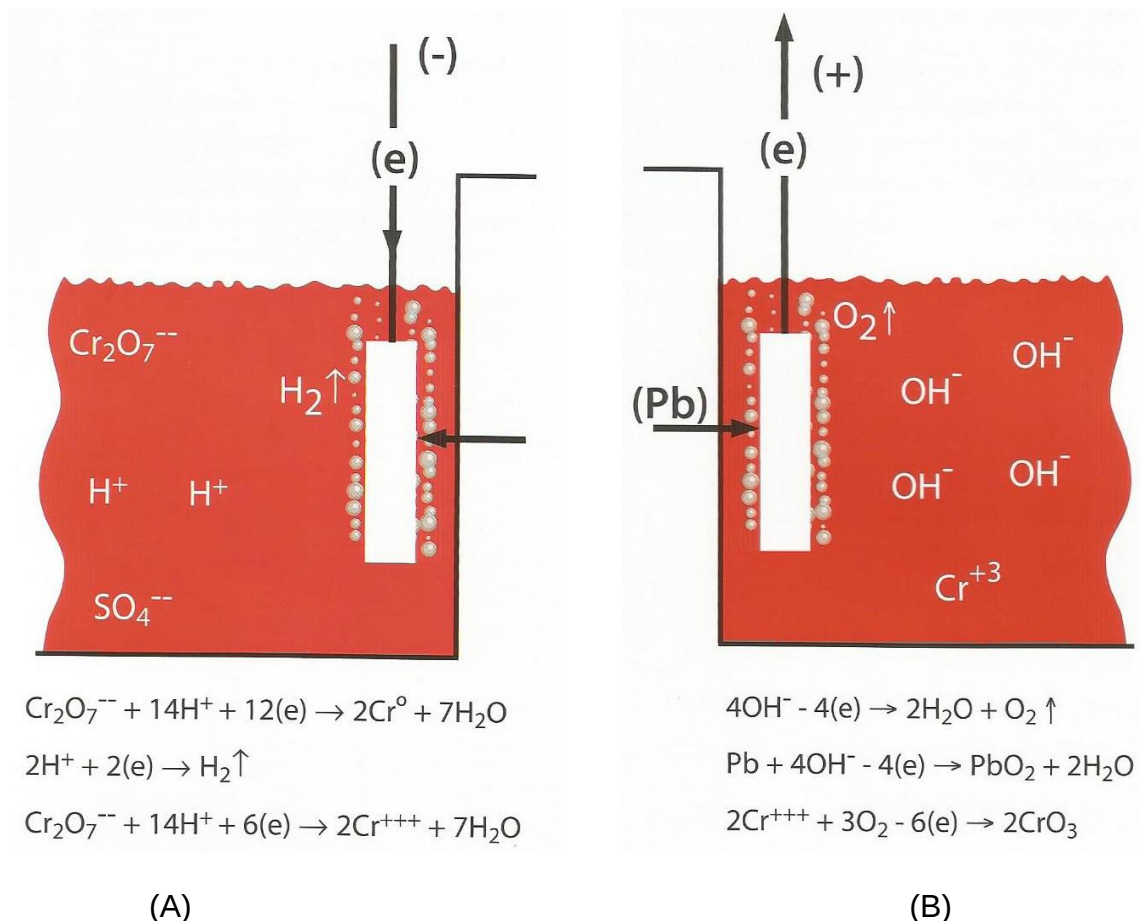


Figura 23 - Reação nos catodos (A); reação nos anodos (B) (In: MILLEN JR e SILVA, 2010, p. 3 (A) e p. 4 (B))

Na primeira reação, chamada reação de deposição, o íon bicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, se combina com 14 íons de hidrogênio e 12 elétrons, na presença do catalizador (íon sulfato), para formar dois átomos de cromo metálico mais 7 moléculas de água. Já na segunda imagem, a reação é expressa mostrando o lado do anodo de chumbo envolto por gás oxigênio da solução, contendo íons hidroxila (OH^-) e cromo trivalente (Cr^{3+}) (MILLEN JR; SILVA, 2010).

É importante ainda que a temperatura da solução seja mantida entre -1°C e 1°C de variação e o banho trabalhando a 38°C , proporcionando um controle adequado para

as operações de deposição decorativa. O aquecimento é o que normalmente acontece na operação, devido à alta densidade da corrente (MILLEN JR; SILVA, 2010).

Segundo Araújo (2006, p. 34),

O banho de cromo decorativo é utilizado para produzir efeito decorativo ou de ornamentação nas peças. Para tal, usa-se densidade de corrente de 7 a 20 A/dm², com banhos mais concentrados de 350 a 450 g/L de óxido de cromo hexavalente (CrO₃) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) – com sulfato de 0,6 a 1,2% em relação ao óxido de cromo -, trabalhando-se com a temperatura do banho na faixa de 30° a 55° C e com uma diferença de potencial de 3,5 a 4 Volts. A espessura da camada de cromo depositada vai de 0,2 a 0,5 µm, dependendo da densidade de corrente e do tempo de cromação, que é normalmente de 2 a 10 minutos.

4. APLICABILIDADE NO ENSINO MÉDIO

Devido a atual realidade do ensino nas escolas públicas no estado de São Paulo, faz-se necessário a elaboração de aulas diferenciadas, para que o processo de ensino aprendizagem seja mais interessante e significativo aos alunos (FINI; MENEZES, 2011).

A utilização de atividades lúdicas, como a experimentação é uma importante ferramenta para que se possa realizar estas aulas. O ensino de química tem como vantagem a facilidade de elaboração de atividades práticas através do uso de materiais caseiros, que são facilmente encontrados e de baixo custo (OAIGEN; SCHWAHN, 2009).

Segundo informações da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, Currículo/ SP (FINI; MENEZES, 2011, p. 21),

A lei determina corretamente que a relação entre teoria e prática se de em cada disciplina do currículo, uma vez que boa parte dos problemas de qualidade de ensino decorre da dificuldade em destacar a dimensão prática do conhecimento, tornando-o verbalista e abstrato.

O presente trabalho pode ser usado como base para aulas práticas sobre eletroquímica. Conceitos como o de corrosão, podem ser inseridos pelo material aqui apresentado, porém de forma mais simplificada, assim como reações de óxido redução, entre outros. O exemplo a seguir, traz uma aula sobre pilhas, a qual pode ser ministrada para alunos do segundo ano do ensino médio.

Uma aula utilizando uma pilha salina é um exemplo de atividade que pode ser realizada. As pilhas e baterias produzem eletricidade através de reações químicas entre determinados componentes, como metais e sais. Uma pilha ou célula eletroquímica é um dispositivo que transforma energia química em energia elétrica, tal transformação dá-se por meio de transferência de elétrons, onde o elemento oxidante perde elétrons e o redutor recebe elétrons, gerando assim a corrente elétrica. Conceitos como o de agente redutor e oxidante também podem ser

trabalhados, bem como outras reações de oxidação-redução, pois o número de oxidação dos elementos se altera (MACHADO; MORTIMER, 2010).

No ano de 1836, John Frederic Daniell (1790 – 1845), como químico, criou um dispositivo capaz de gerar energia elétrica, isso por meio de eletrodos constituído por um metal imerso em uma solução de íons do próprio metal. Tal dispositivo, até a atualidade é utilizado como base para funcionamento das pilhas (MACHADO; MORTIMER, 2010).

Segundo Silva (2009), o experimento da pilha salina, neste caso Pilha de Daniell é um experimento que demonstra a montagem de uma célula galvânica, composta por eletrodos de cobre e zinco, que funcionam através da reação de oxirredução.

Ainda segundo Silva (2009), pode-se desenvolver tal experimento com os seguintes materiais: algodão, tubo de borracha, dois copos de vidro, dois fios condutores com crocodilos e um voltímetro. Além dos compostos: água destilada, placa de cobre, placa de zinco, sulfato de cobre, sulfato de zinco e cloreto de sódio. Tendo como procedimento base a preparação de uma solução aquosa de cloreto de sódio para a ponte salina, em seguida enchendo o tubo com água e vedando com algodão, enchendo cerca de 70 por cento dos copos com a água destilada, colocando em um dos copos sulfato de cobre e no outro sulfato de zinco, em seguida ligando os eletrodos com os fios e ligando-os ao voltímetro (figura 24).

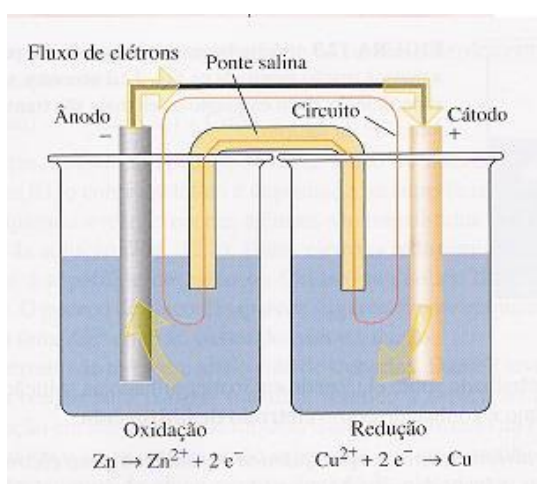


Figura 24 - Representação da Pilha de Daniell (In: MORTIMER; MACHADO, 2010, p. 195)

Segundo Mortimer e Machado (2010), os elétrons circulam do eletrodo de maior potencial de oxidação para o de menor potencial de oxidação. No caso da pilha de Daniell os elétrons vão do zinco para o cobre. Sendo que os Pólos da pilha são: polo positivo, o de menor potencial de oxidação, Cu; e Pólo negativo, o de maior potencial de oxidação, Zn.

A equação global da pilha, representação convencional, é dada por (figura 25):

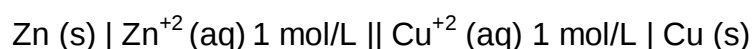


Figura 25 – Equação global da pilha de Daniell (In: MORTIMER; MACHADO, 2010, p. 199)

A pilha de Daniell é representada pela seguinte notação: $\text{Zn}^{\circ}/\text{Zn}^{2+} // \text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{\circ}$ e Ânodo - Ponte Salina – Cátodo (LUZ, 2007).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAS

- Resistência tipo ebulidor 220 Volts, 1000 Watts,
- Fonte de energia de tensão continua – Tecnovolt, Fabricação 1994,
- PHmetro – TEC – 3MP Tecnal,
- Balança Eletrônica – Toledo série 13194 – VW, Modelo PRIX III ano 1995,
- Bomba de ar de aquário, Compressor de ar com regulagem,
- Gancheira adaptada para uso no laboratório.
- Tanques de polipropileno de 10 Litros,
- Bastões de vidro,
- Becker de vidro,
- Becker de polipropileno,
- Anodos de níquel,
- Anodos de cobre,
- Anodos de chumbo,
- Barramentos de cobre,
- Peças de alumínio polidas,
- Tecido de polipropileno.

5.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Montou-se em laboratório uma sequência representando uma linha de produção galvânica, com todas as etapas pela qual uma peça de alumínio passa, até ficar totalmente trabalhada.

Conforme Sillos (2012), em informações do Manual Técnico, estabeleceu-se a quantidade a ser adicionada de todos os produtos utilizados no experimento descrito.

5.2.1 Preparação do banho de níquel

Para que se utilize dos padrões técnicos (Boletim Técnico) para as misturas necessárias para banhar as peças, pesou-se cada componente em balança eletrônica para que assim se utilize das medidas convenientes para a obtenção das misturas desejadas. As pesagens foram as seguintes:

- Ácido bórico, o qual foi pesado 105 g/L, para a preparação de 2 litros do banho de níquel brilhante e semibrilhante (cerca de 50g/L para cada mistura). Na figura a seguir pode-se observar a pesagem do ácido bórico.

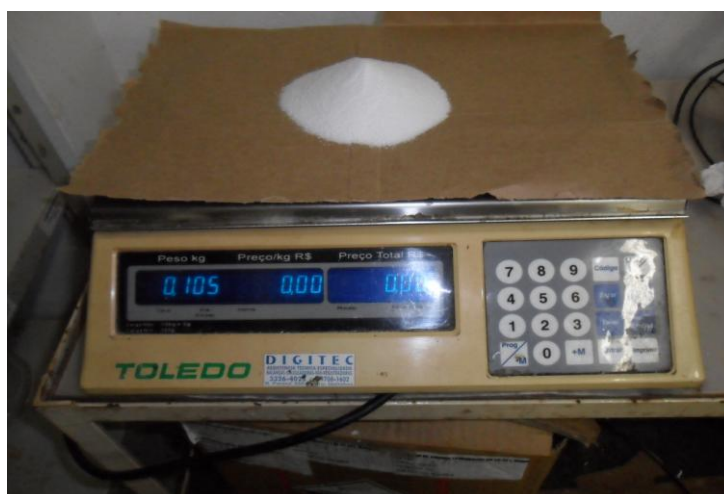


Figura 26 - Pesagem do ácido bórico em balança eletrônica

- Sulfato de níquel, sendo que deste sal foi pesado 600g, para a preparação de 2 litros do banho de níquel brilhante e semibrilhante (cerca de 300 g/L para cada banho). Na figura seguinte observa-se a pesagem de sulfato de níquel.



Figura 27 - Pesagem do sulfato de níquel em balança eletrônica

Após a pesagem, foi aquecido em um Becker de 2L, 1,2L de água a uma temperatura de 60° Celsius, com uma resistência de 1000 W, para dissolução dos sais (sulfato de níquel e ácido bórico). Para que assim se pudessem dissolver os sais, os quais não dissolvem em temperatura ambiente. Após a dissolução, foi adicionado carvão ativado, 12g/L para cada solução, para a purificação de possíveis compostos orgânicos presentes nos sais, na imagem seguinte (figura 28) observa-se a pesagem do carvão ativado.

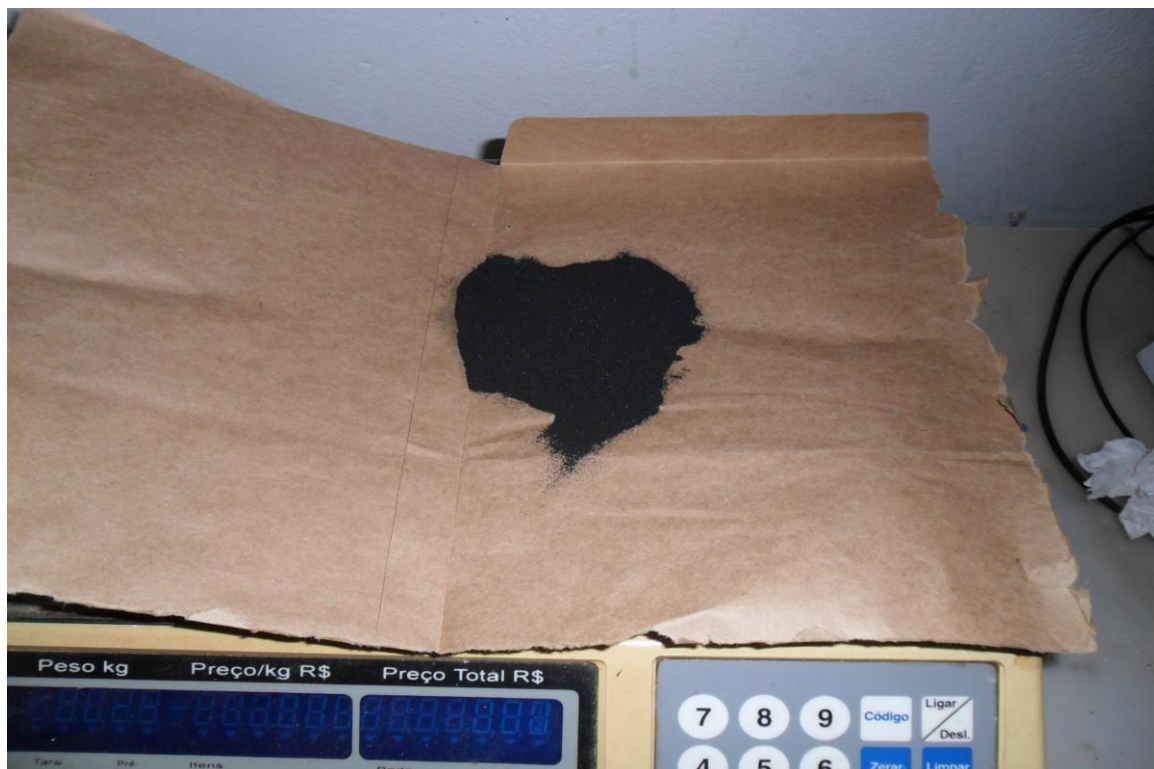


Figura 28 - Pesagem do carvão ativado em balança eletrônica

Após a inserção do carvão ativado, a mistura dos sais (eletrólito de níquel), foi deixada reagindo por 60 minutos, a temperatura de 60° Celsius, para que a reação de purificação ocorresse por completo.

Em seguida, filtrou-se o eletrólito de níquel para retirada do carvão utilizando um funil buschner com papel filtro (250g/m² de gramatura). Na figura 29 A e B, aparecem a mistura eletrolítica antes e durante a filtração.

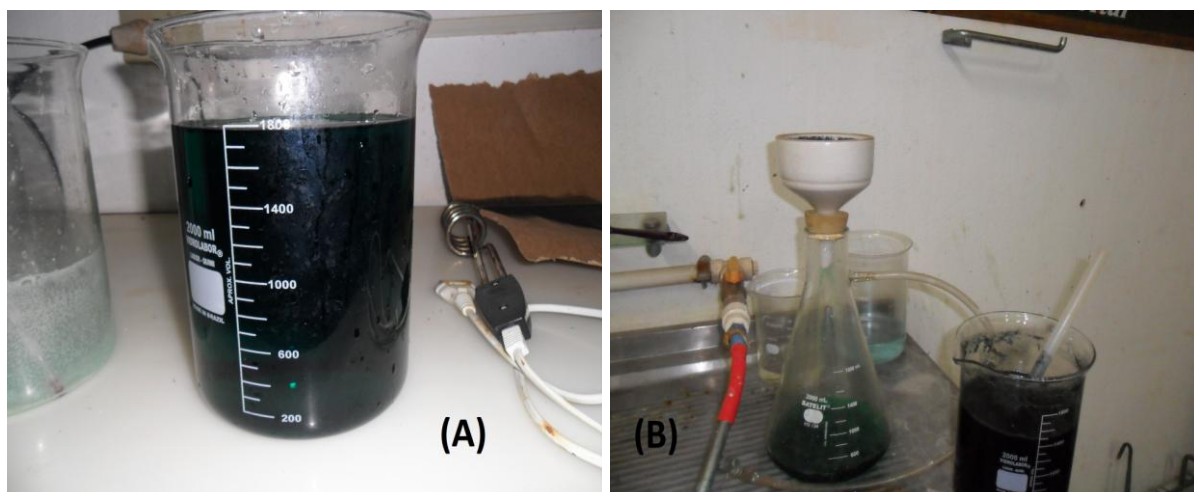


Figura 29 - Eletrólito de níquel com carvão ativado; Filtração do eletrólito de níquel (B)

Em seguida, dividiu-se a solução em duas partes iguais, para serem trabalhadas separadamente, como níquel brilhante e níquel semibrilhante.

Conforme informações de Manual Técnico estabeleceu-se a quantidade a ser adicionada de todos os produtos utilizados no experimento descrito. Adicionou-se cloreto de níquel com diferentes concentrações, 90g/L no banho de níquel brilhante (112ml) e 40g/L no banho de níquel semibrilhante (50ml) (SILLOS, 2012). Para que se diferenciasssem as misturas a partir deste momento, os beakers foram devidamente nomeados como brilhante e semibrilhante.

Nas misturas, são inseridos duas placas de anodo de níquel (figura 30 A), que são responsáveis por fornecer o metal necessário para a deposição das camadas protetivas no metal. As quais precisam ser revestidas por uma faixa de tecido de polipropileno (figura 30 B).



Figura 30 - Placas de anodo de níquel utilizadas para a eletrodeposição de níquel (A), Placas de anodo de níquel ensacadas com tecido de polipropileno (B)

5.2.2 Preparação do banho de cobre ácido

De maneira análoga ao banho de níquel é preparado banho de cobre ácido, segundo as normas do boletim técnico. Foram utilizados 220g/L de sulfato de cobre, 33 mL/L de ácido sulfúrico e 90 mg/L de cloreto. O tanque utilizado foi de polipropileno e o volume da solução totalizou 10L. A pesagem dos produtos utilizados no preparo foi feita em balança eletrônica.

Na imagem da figura 31 são apresentadas as placas de anodo de cobre utilizadas no processo de cobre ácido, as placas são necessárias, pois são elas que fornecem o metal necessário para a solução.



Figura 31 - Placas de anodo de cobre utilizadas no banho de cobre ácido

No processo do preparo do anodo de cobre as placas de cobre são ensacadas com sacos de polipropileno, para evitar que partículas metálicas que se desprendem do anodo, se depositem sobre a peça, evitando assim aspereza e chuviscos na peça que sofre eletrodeposição.

5.2.3 Preparação do banho de Cromo

O banho de cromo hexavalente foi montado com concentração de 280g/L de sal de cromo catalisado. A mistura totalizou volume de 10L e o tanque utilizado foi de polipropileno. Para que haja a deposição do metal (cromo) na peça é necessário que exista uma corrente elétrica contínua no banho de cromo, para que isto seja possível são ligados barramentos de cobre que interligam os anodos de chumbo (anodo insolúvel responsável pela troca iônica) (figura 32).



Figura 32 - Tanque com mistura de cromo utilizada nos ensaios

5.2.4 Solução Triácida

A mistura triácida utilizada no processo é uma mistura pronta para uso, fornecida pela empresa Anion Mac Dermid.

5.2.5 Banho de Zincato

Para o banho de zincato foi utilizada um solução pronta para uso, fornecida pela empresa Anion Mac Dermid.

5.2.6 Eletrodeposição nos corpos de prova

Para a realização do experimento foram utilizados 6 corpos de prova, com área de $6,4 \text{ dm}^2$ previamente tratados, pois já passaram por pré-tratamento mecânico, processo de lixa, polimento em discos de sisal. Em seguida, foi dado o polimento em discos de algodão plissado, e finalmente passando por final no processo manual em disco de algodão, com massa para lustro, deixando as peças com a superfície totalmente lisa, sem riscos e sem rugosidade, estando assim pronta para receber a

camada de eletro deposição de metais. Os corpos foram divididos dois a dois, os quais foram divididos desta forma para que se possa testar a resistência à corrosão com o aumento do tempo de processos de eletrodeposição, gerando assim uma camada protetiva mais espessa.

Devido a utilização de massa e sebo durante o processo de polimento, as peças ficam sujas com massa e sebo acumulados pelo processo de polimento. Para que se retirem esses resíduos, todas as seis peças passaram pelo processo de desengraxante no sistema de limpeza por uso do ultrassom, deixando a peça limpa com 1,5 minutos. Garantindo que a superfície fique totalmente livre das sujidades do polimento mecânico

Na sequência, para deposição de camadas, o alumínio tem de passar pela ativação de sua superfície, esta ativação é feita por meio da ativação ácida, a qual ocorre em solução tri ácida), processo este com duração de 40 segundos (em todas as seis peças) (figura 33). Retirando assim, alguma presença de óxido sobre a camada das peças de alumínio.

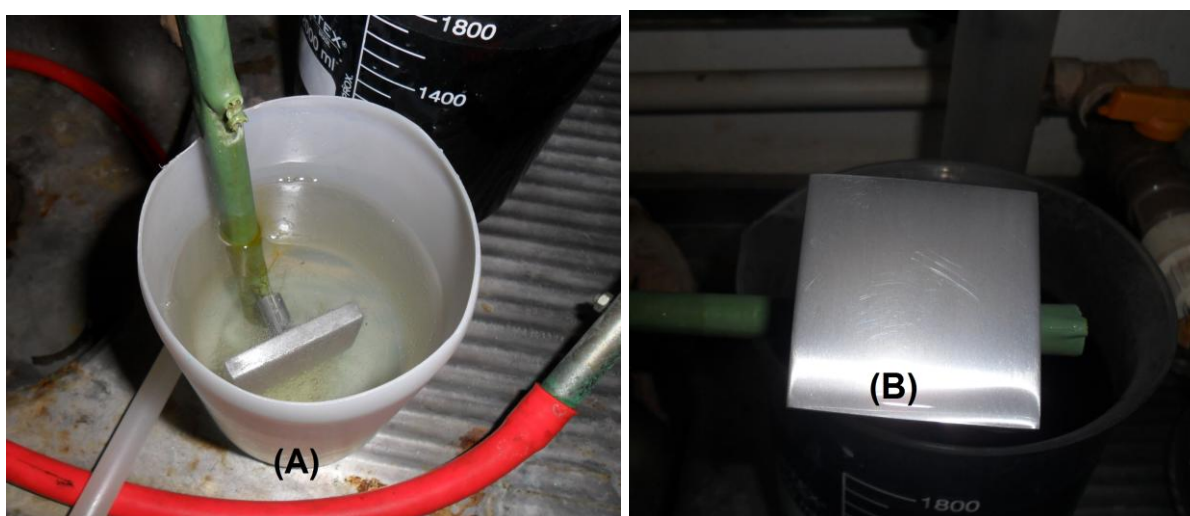


Figura 33 – Peça submersa em mistura triácida (A); superfície do metal após ativação ácida (B)

Para garantir que o enxague fosse perfeito foi utilizado lavagem em água corrente na torneira da pia do laboratório.

Na sequência, submergiu-se as peças uma a uma no banho de zinco (solução já pronta, por 1,5 minutos, formando assim uma camada de zinco sobre o alumínio para possibilitar os processos de eletrodeposição (figura 34 A e B).



Figura 34 – Peça submersa em banho de zinco (A); Superfície do alumínio após a redução do zinco (B)

Depois de retirado do banho, as peças passaram por dupla lavagem em água corrente na pia do laboratório.

Para que se possa diferenciar as peças banhadas duas a duas, as mesmas foram denominadas de peças A, peças B e peças C.

Nesta parte do experimento começam os processos eletroquímicos. O primeiro deles é a eletrodeposição de níquel semibrilhante, processo este que durou 3 minutos para todas as peças, com voltagem de 2,5 volts/ 5 Amperes. Seguido de lavagem dupla com água corrente da pia do laboratório (figura 35 A e B).

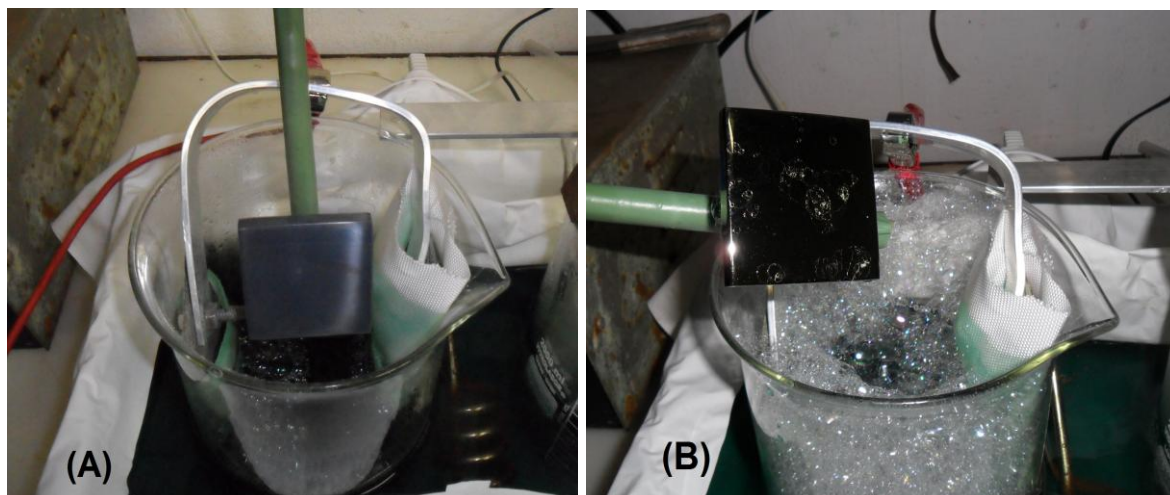


Figura 35 - Peça entrando no primeiro processo eletrolítico (A); Peça saindo do acabamento com níquel semibrilhante (B)

Após esta etapa as peças passam por ativação em ácido sulfúrico 5% de volume, o tempo de contato da peça com o ácido sulfúrico é de 20 segundos e novamente fez-se a dupla lavagem dos corpos (figura 36).



Figura 36 – Peça passando por ativação em ácido sulfúrico

A eletrodeposição de cobre ácido é mais uma camada protetiva. As peças A não passaram pelo processo de cobre ácido, apenas as peças B e C, para que assim se

verificasse a capacidade protetiva do cobre ácido. As peças B e C sofreram eletrodeposição de cobre ácido durante 10 minutos, com 1volt/ 3 Amperes. O tempo foi o suficiente para dar nivelamento e brilho às peças, as quais passaram novamente por lavagem dupla em água corrente da torneira da pia do laboratório (figura 37 A e B).

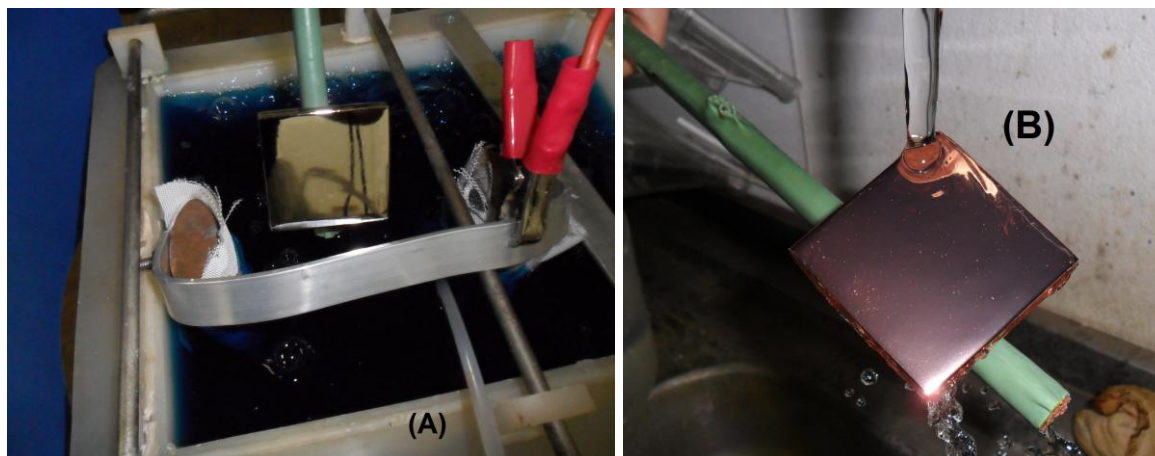


Figura 37 – Peça entrando no banho de cobre ácido (A); lavagem da peça após a deposição de cobre ácido (B)

Apenas a peça C, após passar pelo cobre ácido, passou por mais uma camada de níquel semi brilhante, para que assim se verificasse a resistência à corrosão, através da funcionalidade do sistema bi-níquel. Processo este, com duração de 5 minutos, com 2,5 volts/ 5 Amperes.

Todas as peças passaram por ativação em ácido sulfúrico 5% durante 20 segundos, para garantir que não fossem arrastados sais de um banho para outro, evitando a contaminação dos banhos e permitindo uma melhor aderência da camada subsequente. Passando todas, mais uma vez por dupla lavagem.

Todas as peças passaram pelo processo de eletrodeposição de níquel brilhante, com 2,5 volts/ 5 Amperes, porém com diferentes tempos de deposição. A peça A, passou por 7 minutos de níquel brilhante, enquanto as peças B e C passaram por 5 minutos de níquel brilhante (figura 38). Todas as seis peças, em seguida, passaram por processo de dupla lavagem.



Figura 38 – Peça após a deposição de níquel brilhante

Finalizando o processo de eletrodeposição de camadas, todas as peças passaram pela eletrodeposição de cromo por 1 minuto, inicialmente com 3 volts/ 5 Amperes, seguido de mais 15 segundos de banho, no qual foram aplicados 9 volts/ 12 Amperes (figura 39).



Figura 39 – Peça cromada

Durante a reação ocorrida no processo de eletrodeposição de cromo, aproveita-se cerca de 10 % da energia aplicada, por isso é necessário um aumento potencial da carga energética para que se possa finalizar a eletrodeposição na área de baixa densidade de corrente da peça. Ao concluir este passo, as peças passam por dupla lavagem para finalizar o processo (MILLEN JR; SILVA, 2010).

5.2.7 Teste de resistência de corrosão

Um dos maiores problemas encontrados quando se trata de corrosão é a nevoa salina, que ataca os metais e faz com que se inicie o processo corrosivo, sendo assim um teste muito utilizado para se testar a corrosão em peças metálicas é o teste de salt spray, que simula um ambiente com os efeitos da névoa salina da atmosfera marinha (GENTIL, 1996).

Segundo Gentil (1996, p. 291), quanto ao teste de névoa salina:

[...] mas certamente, esta não contém somente o cloreto de sódio, que é utilizado nas câmaras de névoa salina e umidade. Na realidade, em atmosfera marinha, pode-se ter, além do cloreto de sódio e umidade, poluentes, temperaturas variáveis, períodos de umidificação, secagem e radiações ultravioleta que não constam nos ensaios de névoa salina.

O teste de névoa salina é regulamentado pelas normas: NBR8094/83 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM B 117/84 (American Society for Testing Materials). Para o presente trabalho as condições do ensaio foram as seguintes: temperatura no interior da câmara, $35 \pm 2^\circ\text{C}$; pressão do ar, $1 \pm 0,3$ Kgf/cm²; pH da solução, 6,5 a 7,2; quantidade de névoa pulverizada, 1,0 a 2,0 ml/h, (coletor com área de 10 cm²); Concentração de Cloreto de Sódio: 5 %.

O teste pode demorar um tempo tão breve quanto 16 horas, porém normalmente varia de 144 a 250 horas ou mais, sendo de 144 horas o tempo mínimo que uma peça de uso arquitetônico deve resistir (UCHIMURA, 2007).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resumidamente, podem-se verificar na tabela 1 por quais processos as peças A, B e C passaram.

	PEÇA A	PEÇA B	PEÇA C
PROCESSOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	Mistura Triácida	Mistura Triácida	Mistura Triácida
	Zincato	Zincato	Zincato
	Níquel Semibrilhante	Níquel Semibrilhante	Níquel Semibrilhante
	Níquel Brilhante	Cobre Ácido	Cobre Ácido
	Cromo	Níquel Brilhante	Níquel semibrilhante
		Cromo	Níquel Brilhante
			Cromo

Tabela 1 – Descrição dos processos de tratamento de superfície nas peças A, B e C

O tempo de cada banho é primordial para a qualidade e espessura de cada camada protetiva a ser depositada na superfície de alumínio, adaptando-se as informações técnicas, determinou-se o tempo a ser empregado em cada banho (SILLOS, 2012).

As peças A, não passaram pelo processo de cobre ácido para que se pudesse verificar a resistência das múltiplas camadas com o cobre ácido à corrosão, enquanto as peças B e C passaram. As peças C, passaram por mais um processo, o denominado bi-níquel, descrito anteriormente, para a comprovação da eficiência deste processo.

A tabela 2 traz resumidamente os tempos pelos quais as peças passaram por cada banho.

PROCESSOS	TEMPO DE TRATAMENTO		
	PEÇA A	PEÇA B	PEÇA C
Mistura Triácida	40 segundos	40 segundos	40 segundos
Zincato	1min e 30 s	1min e 30 s	1min e 30 s
Níquel Semibrilhante	3 minutos	3 minutos	3 minutos
Cobre Ácido	_____	10 minutos	10 minutos
Níquel semibrilhante	_____	_____	5 minutos
Níquel Brilhante	7 minutos	5 minutos	5 minutos
Cromo	1 minuto	1 minuto	1 minuto

Tabela 2 – Tempo de duração dos processos de tratamento de superfície do alumínio

As peças trabalhadas, conforme descrição da parte experimental, passaram por teste de resistência à corrosão, teste de névoa salina. Com o objetivo de verificar a resistência à corrosão em peças de alumínio, com camada de níquel semibrilhante, cobre ácido, níquel brilhante e cromo.

As peças foram colocadas na câmara de névoa salina com o intuito de suportarem o mínimo de 144 horas sem corrosão. O período de realização do teste é o descrito na tabela 3:

Fase	Período
Início do teste	22.09.2014 às 14:00 horas
Término do teste	30.09.2014 às 14:00 horas
Duração do teste	192 horas

Tabela 3 – Datação e duração do teste de névoa salina

Como as peças foram subdivididas em 3 grupos, foram realizados 3 testes, sendo o teste 1 com as peças que passaram por níquel semibrilhante, níquel brilhante e cromo, descritas anteriormente como peças A (figura 40).



Figura 40 – Amostra para teste 1, peças A

No teste 2, foram analisadas as peças B, que passaram por tratamento com níquel semibrilhante, cobre ácido, níquel brilhante e cromo (figura 41).



Figura 41 - Amostra para teste 2, peças B

E no teste 3 as peças analisadas foram as denominadas C, as quais passaram por tratamento com níquel semibrilhante, cobre ácido, níquel semibrilhante, níquel brilhante e cromo (figura 42).



Figura 42 - Amostra para teste 3, peças C

A tabela 4 apresenta os resultados do teste de resistência à corrosão:

Identificação	Tempo do teste	Avaliação
Teste 1/Peça A	96 horas	Início de Corrosão
Teste 2/ Peça B	120 horas	Início de Corrosão
Teste 3/Peça C	192 horas	Não houve Corrosão

Tabela 4 – Testes realizados, com duração e resultados

Assim, as peças A, conforme descrito na tabela 4, apresentaram corrosão após 96 horas do início do teste, na figura 43 é possível ver os pontos de corrosão branca.



Figura 43 – Peça A com pontos de corrosão devido ao teste de névoa salina

Já as peças B, apresentaram pontos de corrosão, apenas após 120 horas do início do teste de névoa salina, na figura abaixo nota-se focos de corrosão em uma das peças.

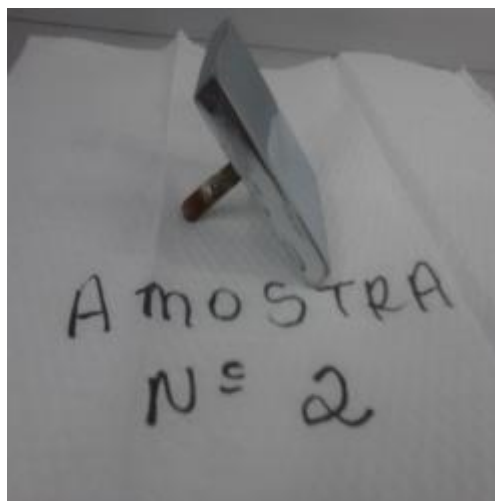


Figura 44 – Peça B com pontos de corrosão devido ao teste de névoa salina

E finalmente, as peças C, não apresentaram corrosão, mesmo após 192 horas de teste de exposição à nevoa salina. Na imagem da figura 45 é possível verificar a total perfeição da peça mesmo após tal procedimento.



Figura 45 – Peça C não apresentou corrosão ao teste de névoa salina

A expectativa era de que apenas as peças C resistissem ao teste, para que se comprove a eficiência das múltiplas camadas no processo de prevenção à corrosão.

A determinação do tempo foi de acordo com o padrão estabelecido para o teste de névoa salina, 144 horas (UCHIMURA, 2007).

7. CONCLUSÃO

Os testes realizados mostraram que as peças A e B não apresentaram um resultado satisfatório, visto que as expectativas eram de um mínimo de 144 horas perante o teste de névoa salina. Somente a peça C obteve um desempenho satisfatório, superando 192 horas de teste sem nenhum sinal de corrosão.

Portanto, podemos concluir que os resultados indicam que o melhor tratamento é o descrito para a peça C, visto que resistiu à corrosão por maior tempo, o que evidencia a necessidade de várias camadas protetivas para uma proteção eficiente à corrosão. Os diferentes testes levaram aos diferentes números de camadas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, N. V. S., **Galvanoplastia com cromo: diagnóstico das condições ambientais e ocupacionais em pequenas empresas**. 2006, 119p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/jspui/bitstream/123456789/5389/1/arquivo2466_1.pdf>. Acesso em 04 de out de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 6507-1: materiais metálicos** - ensaio de dureza vickers. Rio de Janeiro, 2008.

BARNSTEAD, M. **Summary of Side Meeting On Cadmium Replacement on Electrical and Optical Connectors**. ASETS Defense Technical Manager, Mac Dermid Industrial Solutions, 2012. Disponível em: <<http://www.asetsdefense.org/documents/Workshops/ASETS2012/ASETSDefense%202012%20-%20Connector%20Side%20Meeting%20Summary.pdf>>. Acesso em 21 de nov. de 2014.

BEM, P.P.T. **Efluente gerado em pré-tratamento de pintura automotiva: um caso industrial**. 213p. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp092418.pdf>>. Acesso em 01 de out. de 2014.

BENVENUTI, T. **Avaliação da eletrodialise no tratamento de efluentes de processos de eletrodeposição de níquel**. 2012. 115p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia de minas, metalúrgica e materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2012. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/60652/000862611.pdf?sequence=1>>. Acessado em 03 de out. de 2014.

BOS, A. Processo de Cromação de Zamac: Discussão, Inovações, Tendências e otimização de processo. **Revista Tratamento de Superfície**, ano XXXII, número 180, julho/agosto, 2013a, p. 28 - 37.

BOS, A. **Sistemas de Níquel**. ATOTECH, Taboão da Serra/ SP, 2013b.

BRASIL. Ministério da Educação – MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica – Semtec. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília, MEC/ Semtec, 1999.

CORROSÃO E PROTEÇÃO, Ciência e Tecnologia em Corrosão. Revista Ano 7, numero 31, março/abril 2010.

CUNHA, M. T.; FURUMURA P. L. G. C.; JOHANN, J.; RODRIGUES, P. R. P. Estudo da Eletrodeposição de Cobre em Meio Alcalino com uso de Corrente Pulsada. **Revista Virtual de Química**, Ano 2, Volume 6, dezembro, 2013, p. 258 – 278. Disponível em: <<http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/view/438/416>>. Acesso em 21 de nov. de 2014.

D'AMARO, J. C. Cuidados na preparação de superfícies. **Revista Tratamento de Superfície**, ano XXV, número 136, março/abril, 2006, p. 38 - 49.

FIGUEIREDO, J. M. **Sector dos Tratamentos de Superfície**, Guia Técnico, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI, Lisboa – Portugal, 2000. Disponível em: <<http://residuos-industriais.dashofer.pt/library/9bf31c7ff062936a96d3c8bd1f8f2ff315/ext-data/2.4.2.4.5.1.9.pdf>>. Acessado em: 01 de out. de 2014.

FINI, M. I.; MENEZES, L. C. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias.** Secretaria de Educação. 1ª. Edição – São Paulo – SP: SE; 2011.152 p.

FODRA FILHO, V. F. Acabamentos dos aços inoxidáveis, ACESITA, 1997.

GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e Sua Caracterização.** LTC – Livros Técnicos e Científicos – Editora, 2001.

GENTIL, V. **Corrosão**, 4ª ed. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos – Editora, 2003.

GENTIL,V. **Corrosão.** LTC – Livros Técnicos e Científicos – Editora, 3ª edição, 1996.

LABORATÓRIO de materiais, **Unioeste** – Campus de Foz do Iguaçu. Disponível em < <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap9.pdf>>. Acesso em 30 de mar. de 2014.

LANGER, H. O Cobre, das origens até a galvanoplastia. **Revista Tratamento de Superfície**, ano XXXII, número 181, setembro/outubro, 2013, p. 50 - 53.

LISBOA, A.; BARIN, C. S. **Eletrodeposição de Ligas Metálicas Nobres para Fabricação de Jóias e Jóias Folheadas**, UNOPAR, Londrina, 2009. Disponível em: < file:///C:/Users/Camila/Downloads/1155-4344-1-PB.pdf>. Acesso em 04 de out de 2014.

LORENTZ, A. **Projeto conceitual de um tanque de deposição eletrolítica de zinco para um processo de galvanoplastia**. FAHOR – Faculdade de Horizontina - Horizontina, 2012.

LUZ, L. M. **Pilha de Daniell (pilha eletroquímica)**, ano 2007. Disponível em <<http://www.infoescola.com/quimica/pilha-de-daniell-pilha-eletroquimica/>>. Acesso em: 21 de jul. de 2014.

MAGARIFUCHI, A. Y. M. et. al., **Manual de segurança e saúde no trabalho: Indústria Galvânica**. Serviço Social da Indústria – SESI. São Paulo, 2007. Disponível em: < www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=6443>. Acesso em 15 de mar. de 2014.

MANUAL DE GALVÂNICA da Votorantim. **Níquel, Boas Práticas na Eletrodeposição**. São Paulo/ SP. Disponível em <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/guia_boas_%20praticas_%20galvanoplastia.pdf>. Acesso em: 22 de mar. de 2014.

MARTINS, R. A. **Alessandro Volta e a invenção da pilha**: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. Grupo de História e Teoria da Ciência, Unicamp, Campinas – SP. 1999.

MENEGHESSO, A. A. **Alumínio**: tipos de acabamento. Revista Corrosão e Proteção, Ano 10, Número 47, Julho/Agosto, 2006, p. 32 – 33.

MERCON, F.; GUIMARÃES, P. e MAINIER, F. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. **Revista Química Nova na Escola**, nº 19, maio de 2004, p. 11 - 14.

MILLEN JR, W. e SILVA, M. A. **Eletrodeposição de Cromo Decorativo**, São Paulo/SP, ABTS, 2010.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química 2: ensino médio**, 1ª edição. São Paulo, Editora Scipione, 2010.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e tratamento de superfície**. IFPA, Belém, 2012. 104 p. Disponível em <
http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf>. Acesso em 30 de ago. de 2014.

PACHECO, C. E. M., SANTOS, M. S., YAMANAKA, H. T. **Bijuterias**. São Paulo: CETESB, 2005. 54 p

PANNOMI, F. D. **Coletânea do Uso do Aço: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**, MANUAL da GERDAU, 2004. Disponível em: <
http://www.gerdau.com.br/gerdauacominas/br/produtos/pdfs/manual_corrosao.pdf>. Acesso em 06 de mar. de 2014.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra a corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**, São Paulo, 1º Ed., Volume I, IPT2032, 1993.

PESSOA, L.; SPINA, A. **Processos De Alumínio**. Anion- MacDermid – Brasil, Jandira – SP, 2006.

PONTE, H. A. **Fundamentos da Corrosão**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em <
<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Apostila%20Corrosao.pdf>>. Acesso em: 23 de jun. de 2014.

Revista Tratamento de Superfície, Edição número: 180. Publicação: Julho/Agosto de 2013.

ROHDE, R. A. **Metalografia Preparação de Amostras: uma abordagem prática**, versão 3.0. Apostila LEMM Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais, Outubro de 2010. Disponível em: <http://www.freewebs.com/profpaulofj/apostilas/metalografia-%20URISAN.pdf>. Acesso em 22 de nov. de 2014.

SCARAZZATO, T. **Tratamento de efluente contendo HEDP por eletrodialise**. 2013. 113p. Dissertação Mestrado - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, São Paulo, 2013.

SCHWAHN, M. C. A.; OAIGEN, E. R. **Objetivos para o uso da experimentação no ensino de química**: a visão de um grupo de licenciandos. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis – SC, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/933.pdf>>. Acesso em: 23 de nov. de 2014.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. Diretoria de Assistência Médica e Odontológica - DAM. Gerência de Segurança e Saúde no Trabalho - GSST. **Manual de Segurança e Saúde no Trabalho**: indústria galvânica, São Paulo. 2007.

SILLOS, R. M. **Manual Técnico SurTec**: tratamentos de superfície, 4ª edição, São Bernardo do Campo – SP, 2012.

SILVA, V. S. C. F. **Pilha de Daniell**, ano 2009. Disponível em <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=21976>>. Acesso em 21 de jul. de 2014.

UCHIMURA, M. S. **Teste da névoa salina**. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/meio%20ambiente/corrosao/Nevoa_Salina_2.pdf>. Acesso em 23 de nov. de 2014.

VIEIRA, S., Riscos de racionamento: A complicada situação do alumínio primário e os impactos no mercado de sucata. **Revista Reciclagem Moderna**, edição 42, ano IX, mar/ abr, 2014, p. 22 - 35.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**, 1ª edição, São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP, 2003.

ZOLDAN, G. Tratamento de superfícies, evolução constante. **Revista Tratamento de Superfície**, ano XXVIII, número 163, setembro/outubro, 2010, p. 50 a 52.