



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

LUCIANA COSTA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO PROCESSO DE ANODIZAÇÃO

FORTALEZA

2016

LUCIANA COSTA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO PROCESSO DE ANODIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Orientador Didático-pedagógico: *Prof. L.D. Francisco Belmino Romero*

Orientador Profissional: *Dra. Iêda Nadja Silva Montenegro*

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48e Oliveira, Luciana Costa de.

Estudo do Processo de Anodização / Luciana Costa de Oliveira. – 2016.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2016.

Orientação: Profa. Dra. Iêda Nadja Silva Montenegro.

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Belmino Romero.

1. Anodização. 2. Alumínio. 3. Corrosão. I. Título.

CDD 540

LUCIANA COSTA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO PROCESSO DE ANODIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Aprovada em: 01/07/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. L.D. Francisco Belmino Romero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dra. Iêda Nadja Silva Montenegro (Orientador) 
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC

Ms. Natanna Azevedo de Aguiar (Examinador)
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC

A Deus, ao meu pai (in memoriam),
à minha mãe e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter guiado meus passos, me ajudando a superar os obstáculos.

Ao meu pai, por ter me ensinado que a educação traz liberdade e realiza sonhos, e que a família é o nosso alicerce mais forte.

À minha mãe, pelo incentivo, ajuda, por ser exemplo de dedicação, amor incondicional e por ser o meu amparo e porto seguro.

Aos meus irmãos, que me provam diariamente o significado da palavra cuidar.

À Dra. Iêda Nadja, pela orientação, apoio, confiança e por partilhar conhecimentos que enriqueceram este trabalho.

Ao Prof. Belmino Romero, pela orientação neste trabalho, por abrir as portas para a minha iniciação acadêmica e por todo o aprendizado a partir de seu exemplo.

À Universidade Federal do Ceará e ao seu corpo docente, pela qualidade do ensino e dedicação às aulas ministradas.

À instituição de ensino Camosun College e ao seu corpo docente, por me mostrar que acreditar e agir são os ingredientes da receita da superação.

À ALUMINITECH, pela oportunidade do estágio, que me proporciona crescimento pessoal e profissional, com exemplos de coragem, persistência e visão de futuro como motivação.

Ao Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), pelo desenvolvimento do meu estágio supervisionado e por ser constante fonte para o aprendizado.

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de iniciação científica (PIBIC) e de graduação sanduíche (CsF), que propiciaram oportunidade de aplicação dos conhecimentos aprendidos em sala de aula.

Ao Laboratório de Materiais Poliméricos e Metálicos (LMPM), pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto.

Ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM), Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC) e Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME), pelo apoio nos experimentos realizados.

Aos amigos do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), pelo apoio na execução deste projeto, pelo conforto e conselhos nos momentos difíceis.

A todos os meus amigos da Química, pelo companheirismo, ajuda mútua e momentos de descontração e felicidade.

A todos que de forma direta e indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Quanto maior a dificuldade, tanto maior o
mérito em superá-la”.*

Henry Beecher

RESUMO

A anodização é um processo eletrolítico que visa criar uma camada de óxido na superfície de certos metais. A anodização realizada no alumínio produz uma camada de óxido Al_2O_3 (alumina) que pode conferir as propriedades de isolante elétrico, alta dureza e eficácia na proteção contra a corrosão. Este trabalho teve como objetivo o estudo teórico e prático do processo de anodização. O processo, desenvolvido em escala piloto, no Laboratório de Corrosão da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), consistiu-se em seis etapas: desengraxe alcalino, abrilhantamento, neutralização, anodização, coloração e selagem. Após as peças serem anodizadas, foram submetidas aos testes de conformidade da espessura da camada anódica, através das técnicas de Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Com os parâmetros utilizados para a anodização neste trabalho, foram obtidas camadas de anodização com espessura média de $8\mu\text{m}$, podendo ser utilizadas no processo de produção de bens de consumo, proporcionando acabamento diferenciado, com proteção adicional contra a corrosão.

Palavras-chave: Anodização. Alumínio. Corrosão.

ABSTRACT

Anodizing is an electrolytic process which creates an oxide layer in the surface of certain metals. When aluminum is anodized, a layer composed of Al_2O_3 (alumina) forms on its surface which protects the bulk metal from further corrosion. This layer is an electric insulating and has high hardness. The purpose of this work aimed the theoretical and operational study of the anodizing process in aluminum. The process followed six basic steps: emulsion cleaning, neutralization, brightening, anodizing, coloring and sealing. The thickness of the layer formed was analyzed by Optical Microscopy and Scanning Electronic Microscopy (SEM). The parameters attributed to the anodizing in this work obtained a layer with approximately 8 μm thickness. This thickness is classified into the production of consumer goods which provides special finish and additional protection against corrosion.

Keywords: Anodizing. Aluminum. Corrosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de um processo de galvanoplastia.....	15
Figura 2 - Comportamento dos íons no banho de anodização.....	19
Figura 3 - Camada anódica de alumínio com formação dos núcleos hexagonais com poros centrais.....	21
Figura 4 - Aspecto dos diferentes tipos de coloração após a anodização.....	24
Figura 5 - Selagem a quente.....	25
Figura 6 - Corpo de prova antes da anodização.....	29
Figura 7 - Corpos de prova após coloração por tingimento orgânico.....	30
Figura 8 - Corte transversal no corpo de prova não anodizado.....	31
Figura 9 - Micrografias da camada transversal do tubo de alumínio obtidas por microscopia óptica com aumento de 1000 x: A e B) Tubos anodizado; C) Tubo não anodizado.....	40
Figura 10 - Micrografias da camada transversal do tubo de alumínio obtidas por MEV com aumento de 1000x.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. O Processo de Anodização.....	16
2.2. Etapas do processo de anodização do alumínio.....	17
2.2.1 Decapagem.....	17
2.2.2. Desengraxe.....	17
2.2.3. Fosqueamento e Abrilhantamento.....	18
2.2.4. Neutralização – Ativação.....	18
2.2.5. Tanque de Anodização: a formação da camada de Al_2O_3	19
2.2.6. Coloração do alumínio anodizado.....	22
2.2.7. Selagem.....	24
3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	27
3.1 Objetivo Geral.....	27
3.2 Objetivos Específicos.....	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1. Matéria-Prima.....	28
4.2. Parâmetros da anodização.....	28
4.3. Processo de anodização.....	28
4.4. Ensaio de Conformidade da Espessura da Camada Anódica.....	30
4.4.1. Preparo da amostra.....	30
4.4.2. Microscopia Óptica.....	31
4.4.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Matéria-Prima.....	33
5.2. Parâmetros da anodização.....	33
5.3. Processo de anodização.....	38
5.3.1. Lavagens.....	38
5.3.2. Sequência de anodização.....	38
5.4. Ensaio de Conformidade da Espessura da Camada Anódica.....	39

5.4.1. Microscopia Óptica.....	39
5.4.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	41
5.5. Defeitos Diversos Revelados Durante o Processo de Anodização.....	42
6 CONCLUSÃO.....	44
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

O alumínio tem alcançado uma ampla gama de utilização nos mais diversos setores, superando, em quantidade, o uso de qualquer outro metal não ferroso produzido mundialmente em escala industrial. Em 2007, o volume de consumo de alumínio no mundo alcançou a ordem de 38 milhões de toneladas (38 Mt.), com um valor de mercado superado apenas pelo cobre. [1]

No Brasil o consumo do alumínio cresce de forma expressiva, concentrando-se nos setores de fabricação de embalagens, transportes e construção civil, com 1,6 milhões de toneladas produzidas em 2007. [1]

Esse crescimento está relacionado com as propriedades físicas e químicas do alumínio, tais como leveza, elevada condução de energia, resistência e dureza, maleabilidade e soldabilidade, que permitem seu vasto uso econômico na produção de artigos para a indústria aeronáutica, metalúrgica, farmacêutica e alimentar. [2][3]

O alumínio, apesar de estável, oxida-se espontaneamente com o oxigênio do ar formando uma fina camada de óxido Al_2O_3 (alumina) sobre sua superfície. Essa camada é protetora e inibe o prosseguimento da oxidação. Entretanto, a proteção conferida não é suficiente contra agentes mais agressivos, tais como ambiente salino e choques mecânicos, fazendo-se necessário a realização de tratamentos que garantam uma maior durabilidade do metal. O tratamento mais comum submetido ao alumínio é a anodização: “processo galvânico que cria um filme de óxido sobre certos metais por meio da imersão em um banho eletrolítico” (E. Castro; R. Sillos, 2012 p. 229), conferindo resistência e durabilidade ao metal. [4]

Esse trabalho teve como objetivo geral o estudo do processo de anodização realizado em ligas de alumínio. Teve-se em vista, ainda, a investigação das características da camada de anodização resultante no processo estudado quanto à espessura através de ensaios realizados por microscopia óptica e teste de uniformidade realizado visualmente.

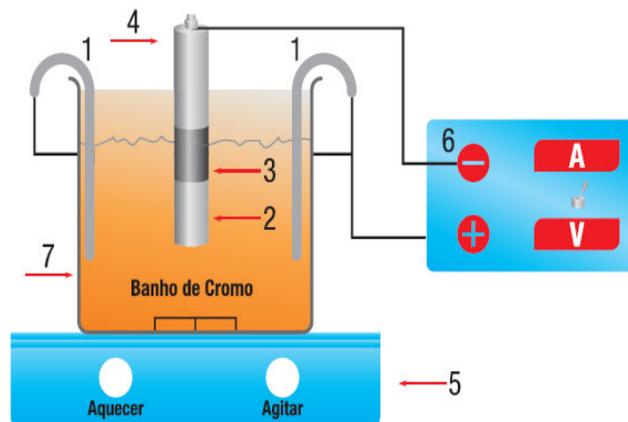
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A galvanoplastia é uma técnica eletrolítica que consiste no revestimento da superfície de um metal por outro metal, a fim de protegê-lo contra a corrosão e intempéries, isolando-o do meio externo. Quando o metal de revestimento é mais nobre do que o metal revestido, ele tem mais resistência à corrosão e isola o metal interno do meio. Por outro lado, quando o metal revestidor possui maior potencial de oxidação, ele age como metal de sacrifício e oxida no lugar do metal a ser protegido.

Diversos metais podem ser utilizados para galvanoplastia, sendo os próprios os responsáveis pela nomeação da técnica em específico: niquelação para o revestimento com níquel, douração para o revestimento com ouro, cromação para o cromo e galvanização para o revestimento de aço ou ferro com zinco.

O princípio da galvanoplastia consiste em uma reação eletrolítica onde a peça a ser oxidada é ligada ao anodo (polo positivo). Este eletrodo sofrerá oxidação liberando íons para a solução que serão reduzidos no catodo (polo negativo), revestindo o eletrodo.

Figura 1 - Esquema de um processo de galvanoplastia.



1. Anodos de chumbo ou chumbo/estanho
2. Área a ser depositada
3. Área isolada com fita
4. Mandril de teste em aço polido
5. Agitador magnético com aquecimento
6. Retificador (12 volts - 15/20 Ampères)
7. Bequer de pyrex - capacidade de 500 ou 1000 mL

A anodização é também um processo eletrolítico, porém oposto ao processo de galvanoplastia, visto que, nesse caso, provoca-se a oxidação do metal, sendo assim um processo corrosivo. No caso do alumínio, a peça a ser anodizada é ligada ao anodo (polo positivo). Este eletrodo sofrerá oxidação liberando íons Al^{3+} que, ao contrário da galvanoplastia, reagirão com o oxigênio do meio e serão depositados no próprio anodo. No catodo (eletrodo negativo) ocorrerá a redução de hidrogênio, fechando o circuito do sistema.

2.1. Processo de Anodização

Quando em contato com oxigênio e umidade do ar, os metais tendem a sofrer oxidação de forma espontânea. O óxido metálico formado possui características físicas e químicas diferentes daquela do metal base e, muitas vezes, desprende-se da superfície do metal, causando a sua deterioração. Por outro lado, alguns metais podem ser favorecidos pela formação da camada de óxido. [5]

No caso do alumínio, há a formação natural de uma fina película de óxido de alumínio Al_2O_3 (Alumina) sobre a superfície do metal, possuindo espessura da ordem de 0,002 a 0,05 μm . Esta película é dura, impermeável à água, isolante elétrico e, portanto, estabiliza a superfície do metal por isolamento desta com o ambiente externo, impedindo a continuidade da oxidação. [4]

Entretanto, em função da pequena espessura deste óxido, o alumínio não está protegido contra ações externas mais agressivas, tais como atmosfera salina ou os ciclos de limpeza submetidos ao produto, deixando-o susceptível à corrosão e, conseqüentemente, diminuindo sua resistência. [4]

A fim de tornar o alumínio apto à aplicação na construção civil, uso arquitetônico e industrial, faz-se necessário a realização de um tratamento de superfície chamado anodização.

A anodização é um processo eletrolítico na qual, através do controle químico e eletroquímico de determinados parâmetros, força-se a formação de uma camada de óxido sobre a superfície do metal, com espessura previamente definida de acordo com a finalidade de uso. Quando a anodização é realizada no alumínio, esta lhe confere resistência contra corrosão, intempéries, abrasão, além de proporcionar um acabamento estético. [4]

2.2. Etapas do Processo de Anodização do Alumínio

2.2.1. Decapagem

O contato elétrico entre as peças de alumínio e a fonte de corrente é realizado através de gancheiras, que são materiais normalmente feitos com ligas de alumínio, fixadas às peças, sendo, portanto, parcialmente anodizadas durante o processo, perdendo sua capacidade de condução elétrica devido à alta resistividade da camada de óxido. [6]

A decapagem é geralmente feita em solução de hidróxido de sódio (NaOH) e possui duas finalidades principais: dissolução da camada de óxido formada nas gancheiras, devendo ser realizada antes de cada processo de anodização, e a recuperação de peças previamente anodizadas e “rejeitadas” do processo, para que um novo ciclo de tratamento possa ser realizado. [6]

2.2.2. Desengraxe

O desengraxe tem a finalidade de remover substâncias orgânicas tais como óleos, gorduras e sujeiras aderidas ao metal devido ao manuseio a que a peça foi submetida anteriormente no pré-tratamento mecânico de polimento, além da remoção de filmes de óxido da superfície do alumínio. O desengraxe pode ser feito em banho ácido, alcalino ou uso de solventes. [6]

No desengraxe ácido ocorre a dissolução da camada de óxido natural do alumínio e quaisquer outras impurezas metálicas, e o desengorduramento da superfície do metal com o auxílio de aditivos com poder umectante. [6]

O banho de desengraxe alcalino é feito a base de carbonatos, silicatos, fosfatos, boratos, etc. com a adição de agentes umectantes. É o desengraxe mais utilizado possuindo grande eficiência na eliminação dos contaminantes orgânicos sem agredir a superfície do metal. [6]

Os solventes possuem alta eficiência na remoção de contaminantes orgânicos provenientes da etapa de polimento mecânico, porém não removem impurezas metálicas superficiais. Seu uso é restrito a tanques fechados devido à alta volatilidade dos seus componentes. [6] [7]

2.2.3. Fosqueamento e Abrilhantamento

O fosqueamento e o abrilhantamento possuem finalidade estética, proporcionando redução ou aumento do brilho natural do alumínio, respectivamente, de acordo com a destinação do uso da peça.

- Fosqueamento

O banho de fosqueamento é composto por solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) e tem como principal objetivo a redução do brilho da peça de alumínio, produzindo uma coloração de aspecto fosco.

A dissolução do alumínio é causada pelo ataque alcalino ao alumínio, que resulta na formação do aluminato (NaAlO_2), segundo a equação abaixo:



- Abrilhantamento

O banho de abrilhantamento é composto por uma mistura de ácidos com proporções definidas, adicionados de sais de metais pesados para aceleração do processo, e tem como principal objetivo o aumento do brilho natural do alumínio, com finalidade estética.

Após o abrilhantamento, uma fina camada de óxido é deixada sobre a superfície do metal e deve ser retirada com ácido nítrico (HNO_3), ao passo que também promove a remoção de metais pesados da superfície do metal, deixando-o apto para o tanque de anodização.

2.2.4. Neutralização – Ativação

A neutralização é geralmente feita em um banho de ácido nítrico (HNO_3) e tem como objetivo neutralizar quaisquer resíduos alcalinos que tenham sido deixados na peça durante pré-tratamentos alcalinos anteriores.

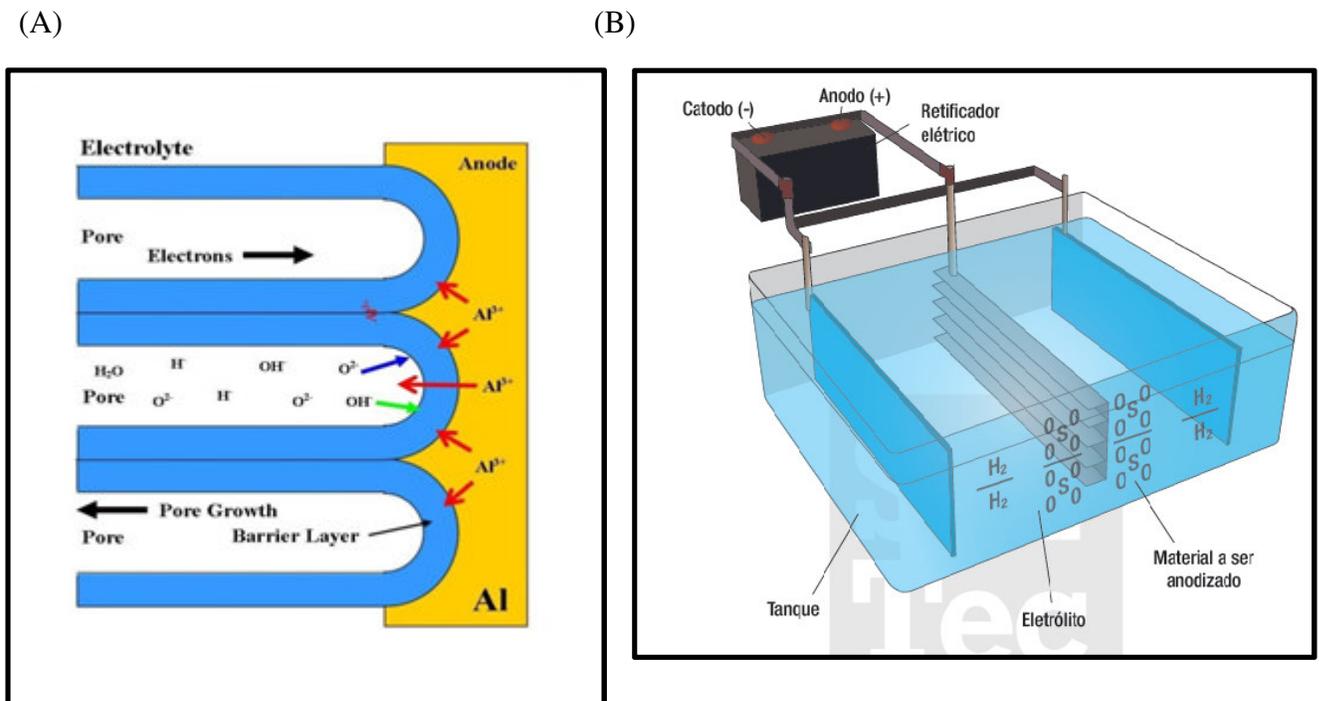
No processo de desengraxe e fosqueamento, pode haver a formação de substâncias básicas insolúveis pela reação da base com os metais presentes na liga de alumínio (Mg, Mn, Fe,

Cu), que se depositam na peça, causando defeitos na anodização, além de contaminar o tanque de anodização com impurezas metálicas provenientes da liga. [7]

2.2.5. Tanque de Anodização: A Formação da Camada de Al_2O_3

A cuba de anodização deve conter uma solução de água e um ácido que contenha oxigênio em sua porção aniônica, tal como ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) ou ácido crômico (H_2CrO_4). Por ser um processo eletrolítico, acopla-se à cuba uma fonte de corrente contínua (retificador). Ao polo positivo (anodo) conecta-se a peça de alumínio que será anodizada e, ao polo negativo (catodo), conecta-se um eletrodo que tenha resistência ao ataque ácido, como chumbo, aço inoxidável, níquel ou até mesmo uma liga de alumínio. [4] [8]

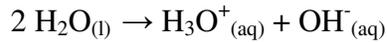
Figura 2 - A) Comportamento dos Íons no Banho de Anodização; B) Esquema do tanque de anodização



Fonte: <http://article.sapub.org/pdf/10.5923.j.ajbe.20130306.01.pdf>.

Quando o circuito é fechado, as seguintes reações ocorrem simultaneamente:

Na solução ocorre a hidrólise do ácido, liberando o oxigênio que será usado para a formação da camada de óxido, seguindo a reação:



A fonte de corrente contínua captura os elétrons do anodo (alumínio sólido), passando-o do estado de oxidação zero para 3^+ , conforme a reação:

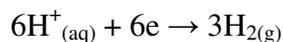


Nesse momento, ocorre a difusão dos íons de alumínio para a solução através da camada barreira, enquanto que ocorre a difusão dos ânions oxigenados (OH^- , SO_4^{-2} , O_2^-) na direção da superfície do alumínio resultando no crescimento da camada de anodização, conforme reação:



A reação acima é exotérmica, liberando grande quantidade de calor. Esse calor aumenta a força do ataque ácido à superfície do alumínio, provocando excessiva dissolução da camada de óxido formada. Portanto, faz-se necessário acoplar um sistema de refrigeração ao banho de anodização.

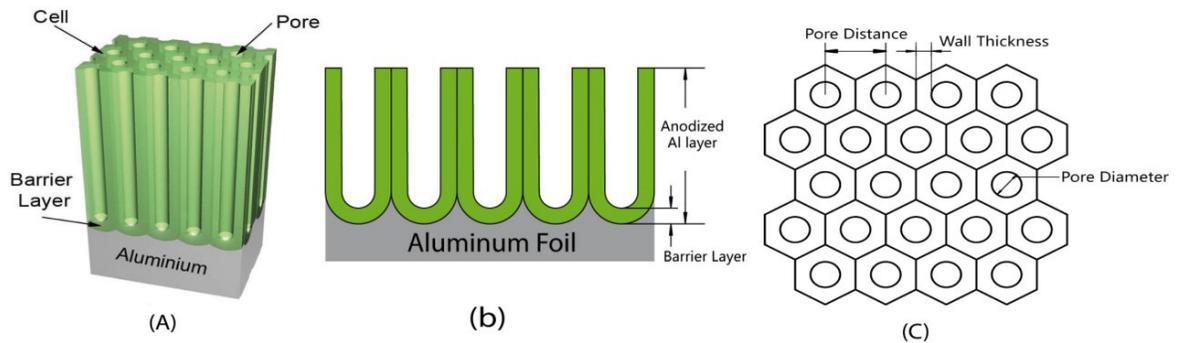
No catodo há a evolução de gás hidrogênio (H_2), proveniente da reação de redução dos íons de hidrogênio do ácido e da água, fechando o circuito do sistema: [9]



Quando há a aplicação da voltagem, a princípio, há a formação de uma camada de $\text{Al}_2\text{O}_3_{(s)}$ com espessura média de 20 μm , chamada de camada barreira, com ausência de poros, o que lhe confere alta resistência elétrica, inibindo o movimento dos íons no óxido e freando a

oxidação. Após alguns segundos, essa resistência elétrica é superada pela voltagem, dando continuidade à oxidação. [4]

Figura 3 - Camada anódica de alumínio com formação dos núcleos hexagonais com poros centrais. A) Camada porosa de Al_2O_3 ; B) Camada barreira e poro; C) Estrutura hexagonal da camada.



Fonte: <http://research.chem.psu.edu/axsgroup/Ran/research/templatesynthesis.html>

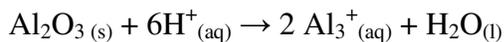
Basicamente, a camada de óxido formada, Al_2O_3 , possui estrutura hexagonal com formação de um poro no centro, com diâmetro variando entre 100\AA - 300\AA e população de aproximadamente 5-70 bilhões de poros por centímetro cúbico (Figura 3). [10]

Os poros são formados devido ao ataque do ácido em conjunto com o calor fornecido pela própria reação exotérmica de formação da alumina. Altas temperaturas reforçam a ação do ácido na dissolução da camada e, portanto, favorecem a formação de poros com grande diâmetro. Os primeiros poros são formados aleatoriamente na superfície da camada barreira. Supõe-se que, com o aumento do tempo de anodização e crescimento da altura da parede dos poros, ocorra uma repulsão entre poros vizinhos carregados ionicamente, forçando a organização geométrica dos mesmos. Assim, cada núcleo é ordenado cercado-se por outros seis núcleos idênticos, arranjando-se com estrutura hexagonal altamente definida, assemelhando-se a “favos de mel” (Figura 3 – C). [9]

O crescimento da camada anódica ocorre na interface camada barreira / eletrólito. Os íons Al^{3+} migram através da camada barreira e reagem com os ânions oxigenados (OH^- , SO_4^{-2} , O_2^-) que culmina com a formação da Alumina, aumentando a espessura da camada. Durante o crescimento da camada com aumento de sua altura não há variação do diâmetro do poro ou da largura do núcleo que o contém, assim como também não há variação na espessura da camada barreira. Nesse momento, a migração dos íons não ocorre mais em toda a superfície do alumínio,

limitando-se à migração dos íons na interface camada barreira/poro. Assim, voltagem e densidade de corrente permanecem constantes até o final da reação. [4]

O aspecto da camada anódica depende dos parâmetros de concentração do eletrólito, densidade de corrente, tempo de exposição da peça e temperatura do banho. O eletrólito garante a condutibilidade elétrica do banho e atua na formação dos poros através da dissolução da camada externa do óxido, segundo a equação:



Portanto, para que haja o crescimento do filme é necessário que a velocidade de crescimento do óxido seja maior do que a velocidade de sua dissolução.

2.2.6. Coloração da Camada de Alumínio Anodizado

A camada de anodização é altamente porosa, assemelhando-se às estruturas das fibras têxteis, permitindo a sua coloração por diferentes métodos:

- Coloração por Impregnação ou Absorção

O filme de anodização possui alta capacidade de absorção, que aumentará conforme o aumento do tamanho do poro. Na coloração por impregnação utilizam-se compostos orgânicos (anilinas) ou inorgânicos (sais metálicos), que ficam aderidos aos poros da camada anódica, colorindo o alumínio. Portanto, as espécies permanecem aderidas na parte mais externa (superfície) do poro. [12] [13]

Existe uma diversidade de cores que podem ser utilizadas na coloração por impregnação. Na anodização utiliza-se, geralmente, corantes ácidos com concentrações variando em torno de 0,1 a 3,0 g/L para cores claras e 5 a 10 g/L para cores escuras, com pH de 4,0 a 6,5 e temperatura estabelecida entre 50 e 60 °C. O tempo de imersão varia de 5 – 15 min. Entretanto, para cores pretas usa-se uma concentração de 10 g/L e 15 – 45 minutos de imersão. [12] [13]

- Coloração Inorgânica Eletrolítica

A coloração inorgânica eletrolítica é feita em solução ácida com sais metálicos de níquel, cobalto, estanho ou cobre dissolvidos. Aplicando-se corrente alternada na peça anodizada, os íons metálicos são atraídos para o fundo dos poros e precipitam, colorindo o alumínio. A intensidade da cor varia de acordo com a quantidade de sais metálicos depositados nos poros, que aumenta diretamente com o aumento do tempo de imersão da peça no banho e com o aumento da tensão aplicada. [11] [12] [14]

Tabela 1 – Variação das Cores com o Tempo de Imersão no Banho e Tensão Aplicada.

Cor	Tempo	Tensão
Prata	10-20 seg.	10V
Bronze Claro	60-80 seg.	12V
Bronze Médio	2-3 min.	14V
Bronze Escuro	4-5 min.	16V
Preto	10-20 min.	18V

Fonte: [14]

Para a obtenção da coloração preta é necessário uma espessura mínima de 15 μm da camada de óxido. Poros com alturas menores passíveis de saturação com a precipitação dos íons metálicos, formando sobre a peça uma fina camada arenosa acinzentada de fácil dissolução. [14]

Para que haja uniformidade de cor, a voltagem inicial deve aumentar em forma de rampa, chegando ao seu valor máximo em aproximadamente 45 segundos. [14]

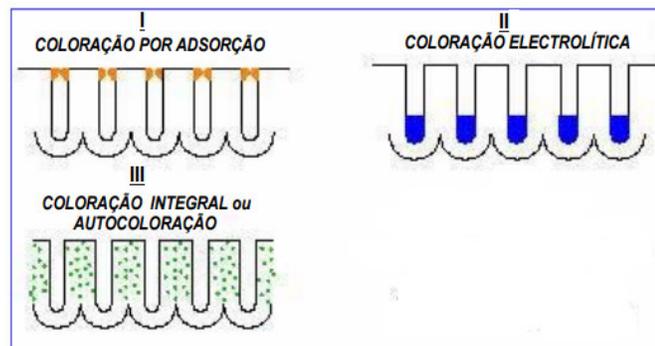
- Auto coloração ou Coloração Integral

Na auto coloração a própria camada após a anodização reflete uma cor característica, ou seja, cada grão de óxido de alumínio possui cor na sua formação. Para isso, banhos especiais

são preparados, sendo em sua maioria banhos a base de ácidos aromáticos sulfonados ou ácidos orgânicos, tais como ácido maléico, succínio e oxálico.

Ligas de alumínio que possuem 5% de silício, quando anodizadas em ácido sulfúrico, produzem uma camada de óxido cinzenta. Outras ligas de alumínio podem produzir cores preto, verde, amarelo, ouro e bronze. [4] [11]

Figura 4 - Aspecto dos Diferentes Tipos de Coloração Após a Anodização.



Fonte: [12] http://www.apal.pt/pdf/et_02.pdf

I. Coloração por Adsorção: anilina ou sal metálico impregna na parte superficial do poro.

II. Coloração Eletrolítica: por corrente alternada, os sais metálicos são atraídos para o fundo dos poros.

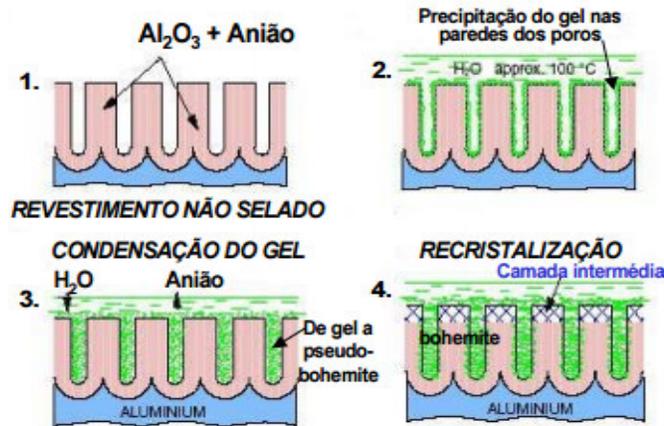
III. Coloração Integral ou Auto Coloração: a camada de óxido reproduz cor característica, dependendo da composição da liga de alumínio utilizada.

2.2.7. Selagem

A selagem é a última etapa no processo de anodização e tem como objetivo tornar a camada impermeável e, conseqüentemente, aumentar sua resistência à corrosão atmosférica e resistência elétrica, além de ficar menos susceptível à manchas, impressões digitais ou óleos. [4] [11]

A camada de Al_2O_3 é amorfa, anidra e porosa. A selagem consiste na hidratação da camada de óxido provocando o fechamento dos poros utilizando água destilada ou deionizada e níquel como catalisador (na forma de acetado de níquel).

Figura 5 - Selagem a Quente.



Fonte: http://www.apal.pt/pdf/et_02.pdf

A selagem pode ser realizada a quente ou a frio.

Na selagem a quente, conhecida também como selagem convencional, a peça anodizada reage com a água à temperatura de 98 °C.

Na reação, parte da camada superficial e parede dos poros é dissolvida e precipita na forma de um gel de fórmula geral $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, que recristaliza com o óxido formando o complexo boemita $2AlO(OH)$, que possui grande volume e fecha os poros da camada anódica, segundo a reação:

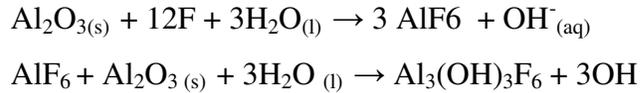


Apesar da boa qualidade, a selagem a quente apresenta certos inconvenientes: o gasto de energia por conta da alta temperatura, longo tempo de aproximadamente 3 minutos para cada micrometro de camada selada. Além disso, parte do gel formado não precipita na forma de boemita, mas permanece na forma de $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ (pseudoboemita), e este reduz a dureza do óxido.

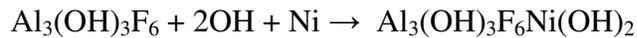


Para fugir destes inconvenientes, tem-se feito uso da selagem a frio. Nesse tipo de selagem prepara-se uma solução contendo sal de flúor e acetato de níquel, ambos na forma líquida, com temperatura de no máximo 30 °C.

Na reação o óxido de alumínio reage com os íons fluoreto formando o composto hidroxifluoreto de alumínio $\text{Al}_3(\text{OH})_3\text{F}_6$, seguindo as etapas:



Por sua vez, o níquel reage com o excesso de hidróxido formado $[\text{Ni}(\text{OH})_2]$ e precipita dentro dos poros juntamente com o hidroxifluoreto de alumínio, formando um gel que cristaliza em 24h (“tempo de envelhecimento”), fechando os poros da camada:



Para acelerar o processo de envelhecimento, a peça é imersa em um banho de água aquecida à 60 °C durante 15 minutos.

Entre as vantagens da selagem a frio estão a não utilização de energia para aquecimento da água, sela em torno de 1 micrometro por minuto, reduzindo o tempo em 1/3 do convencional e, diferente da selagem a quente, não há a formação da pseudoboemita e, portanto, a dureza da camada não sofre alteração. [11]

3. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

3.1. Objetivo geral

Estudo do processo de anodização, visando à aquisição de conhecimentos necessários para a determinação da qualidade do produto anodizado e correção dos banhos.

3.2. Objetivos específicos

- Escolher uma liga de alumínio que possua características adequadas à anodização;
- Realizar a anodização nos corpos de prova da liga de alumínio escolhida para o estudo;
- Analisar a conformidade da camada de anodização através das técnicas de Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Coloração da camada anódica.
- Análise visual da uniformidade da coloração da camada anódica.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Matéria-prima

Os corpos de prova de liga de alumínio foram cedidos por uma empresa do segmento metal-mecânica, localizada no município de Fortaleza-CE. Os corpos de prova são tubos cilíndricos, compostos por uma liga de alumínio adequada à anodização, com dimensões de 63,16mm de diâmetro externo, 59,13mm de diâmetro interno e 118,68mm de altura, com massa de aproximadamente 221 gramas.

4.2. Parâmetros da Anodização

Os experimentos de anodização realizados tiveram como base os parâmetros sugeridos no Manual Técnico de Tratamento de Superfícies da Surtec, 2012.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados na anodização com ácido sulfúrico.

	Condição de trabalho
Concentração H₂SO₄ (g/L)	180 a 210
Voltagem (V)	15
Temperatura (°C)	18 ± 2
Densidade de Corrente (A/dm²)	0,877
Camada pretendida (µm)	8

Fonte: [4] Manual técnico Surtec 2012 – Tratamento de Superfícies. Adaptada pelo autor.

4.3. Processo de Anodização

A anodização teve início com a decapagem das gancheiras em solução de hidróxido de sódio (NaOH).

A peça da liga de alumínio, sem qualquer tratamento químico ou mecânico anterior, foi submetida ao banho de desengraxe, composto por solução alcalina de hidróxido de sódio e

aditivo com poder tensoativo. Ao ser retirada do banho de desengraxe, a peça passou por uma lavagem com jateamento de água corrente potável.

Figura 6 - Corpo de prova antes da anodização.



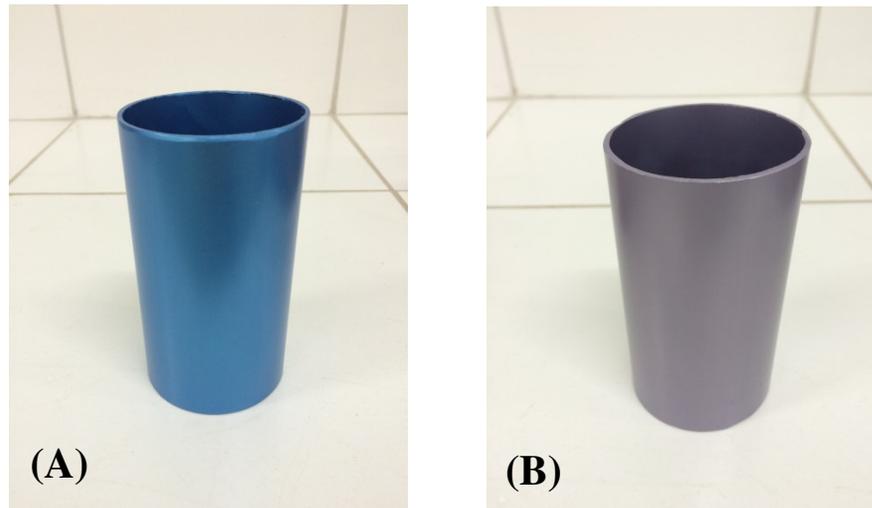
Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a lavagem, a peça foi submetida ao banho de neutralização ácida, composto por solução de ácido nítrico (HNO_3). A peça foi então colocada para reagir com uma solução constituída por uma mistura de ácidos à elevada temperatura, no banho de abrilhantamento. Efetuou-se uma nova lavagem com jateamento de água potável.

Após a lavagem, a peça foi submetida ao banho de anodização durante 30 minutos, utilizando-se o método da anodização sulfúrica (H_2SO_4) com concentração dentro do intervalo de 180-210 g/L. Como fonte de corrente utilizou-se um retificador da marca Elmastron, modelo RS.

Na sequência, a peça da liga de alumínio passou pela lavagem com jateamento de água corrente potável, sendo, em seguida, submetida ao banho de tingimento constituído de sais orgânicos provedores de coloração azul. A peça passou novamente pelo processo de lavagem, preparando-a para a etapa final de selagem.

Figura 7 - Corpos de prova após coloração por tingimento orgânico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para finalizar, a peça já anodizada e colorida foi colocada no banho de selagem, constituído por solução com sais de níquel dissolvido.

4.4. Ensaio de Conformidade da Espessura da Camada Anódica

Os ensaios de conformidade da espessura da camada anódica são realizados para analisar se a espessura anódica atende aos valores mínimos estabelecidos para cada classe de uso.

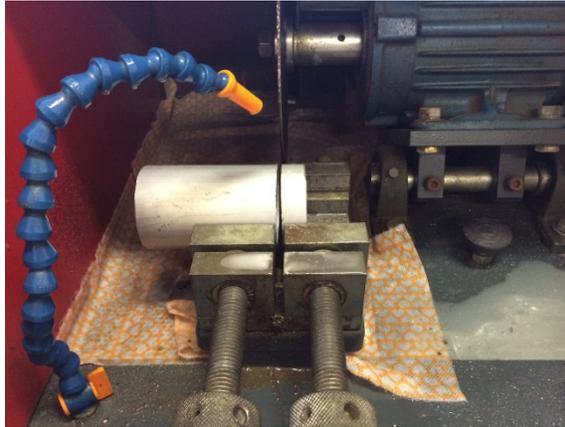
4.4.1. Preparo da Amostra

Para a realização dos ensaios de conformidade, as amostras passaram por um tratamento mecânico de corte, embutimento metalográfico, lixamento e polimento, para que as diferentes fases e componentes do metal pudessem ser reveladas.

As amostras (Figuras 6 e 7) foram cortadas fixando-se o tubo de alumínio na posição transversal em relação ao disco de corte (Figura 8), separando-se uma porção de aproximadamente 10 mm de altura e 10 mm de comprimento (tamanho adequado ao embutimento), utilizando-se cortadora metalográfica marca Fortel, modelo F II, cedida pelo Laboratório de Pesquisa em Corrosão da UFC. A cortadora possui um sistema de refrigeração a

óleo, que é derramado sobre a amostra durante o corte, a fim de evitar alterações no metal provocadas pelo calor de abrasão na interface metal-disco.

Figura 8 - Corte transversal no corpo de prova não anodizado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após cortadas, as amostras foram embutidas com uma embutidora metalográfica a quente, utilizando-se o polímero baquelite, com temperatura de aproximadamente 160 °C.

Após o embutimento, as amostras foram submetidas ao lixamento, utilizando-se uma politriz, que possui um disco rotativo, onde as lixas são fixadas, e sistema de refrigeração com água. Utilizaram-se lixas nas granulometrias 100 mesh, 220 mesh, 320 mesh, 400 mesh, 600 mesh e 1200 mesh, sequencialmente.

Em seguida, as amostras passaram para a etapa de polimento. O polimento foi realizado com panos de polimento especiais, os quais foram fixados ao disco giratório de uma politriz. Durante o processo de polimento, depositou-se ocasionalmente sobre o pano, uma solução de água, para a refrigeração da amostra, detergente e pasta de diamante como componente abrasivo.

4.4.2. Microscopia Óptica

As amostras foram submetidas a ensaios de microscopia óptica, com o microscópio da marca Nikon, modelo DS-Ri2, cedido pelo Laboratório de Materiais Poliméricos e Metálicos (LMPM), localizado no NUTEC.

4.4.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras foram submetidas a ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o microscópio da marca HITACHI, modelo TM300, cedido pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Matéria-prima

A escolha da liga para a anodização deve levar em consideração os elementos que a compõe, pois estes irão interferir na formação da camada anódica.

- Alumínio Puro (99,99%): o filme de óxido obtido é transparente, mesmo em camadas espessas.
- Silício: permanece na sua forma molecular, fazendo com que a camada seja formada sobre o silício, adquirindo coloração de cinza escuro a preto. Portanto, o silício prejudica a formação da camada, devendo estar em quantidade mínima na liga.
- Magnésio: favorece o crescimento da camada pela sua própria oxidação. Pode ser identificado por sua coloração cinza claro.
- Cromo: participa do crescimento da camada pela sua própria oxidação. Pode ser identificado por possuir coloração amarela.
- Cobre: prejudica a formação da camada, pois se dissolve no banho, deixando espaços vazios na superfície do alumínio. Consequentemente, a camada anódica tem sua resistência à corrosão e abrasão diminuída. [11]

5.2. Parâmetros da Anodização

Tabela 3 - Parâmetros gerais para anodização com ácido sulfúrico.

Condição de trabalho	Bens de consumo	Arquitetura	Fins Técnicos Anodização dura
Concentração H ₂ SO ₄ (g/L)	100 a 180	180 a 210	100 a 180
Vtagem (V)	12 a 18	14 a 20	20 a 28
Temperatura (°C)	18 a 24	17 a 21	-2 a +2
Densidade de Corrente (A/dm ²)	1,0 a 1,5	1,2 a 2,0	2,5 a 4,0
Alumínio dissolvido (g/L)	12 máx.	12 máx.	12 máx.
Camada pretendida (µm)	3 a 8	12 a 25	50 a 100

Fonte: [4] Surtec Manual Técnico 2012 – Tratamento de Superfícies.

A anodização possui diversos fins, sejam eles protetivos, estéticos ou estruturais. Para cada aplicabilidade, requer-se uma camada anódica que possua características adequadas à sua utilização: camadas anódicas com poros com diâmetros maiores ou menores, coloração ou peça incolor, maior resistência à corrosão, diferentes espessuras de camada.

A anodização para bens de consumo, por exemplo, estabelece através da norma ABNT NBR 14232 – Anodização para bens de consumo, as espessuras da camada anódica em virtude do ambiente em que o produto ficará exposto:

- Classe A6: 5 a 7 micra, para aplicação interior.
- Classe A13: 11 a 15 micra, para aplicação exterior.

A anodização para fins arquitetônicos estabelece através da norma ABNT NBR 12609 - Anodização para Fins Arquitetônicos, as espessuras da camada anódica requeridas em virtude da zona em que a peça ficará exposta:

- Classe A13: 11 a 15 micra, para zonas de agressividade baixa e média, em ambiente urbano/rural;
- Classe A18: 16 a 20 micra, para zonas de agressividade alta, em ambiente litorâneo;
- Classe A13: 21 a 25 micra, para zonas de agressividade excessiva, em ambiente marítimo/industrial.

A camada anódica, portanto, deve ter versatilidade de características e propriedades para atender a cada um destes requerimentos. Para isso, os parâmetros utilizados devem ser fixados e bem controlados, observando os fatores que influem no aspecto e nas propriedades da camada que se deseja obter.

- Influência da concentração do ácido sulfúrico

O ácido sulfúrico é o responsável direto na dissolução da camada de óxido formada, efeito que, juntamente com o calor gerado pela reação de oxidação, causa a formação dos poros da camada anódica, que aumentam em quantidade conforme há um aumento na concentração do ácido sulfúrico. No início da anodização, a camada barreira possui característica fortemente isolante, por ausência de poros na sua estrutura. O ácido sulfúrico dissolve parte dessa camada, diminuindo sua espessura e facilitando a passagem de corrente elétrica, aumentando a velocidade

de formação da película anódica. Além disso, é o ácido sulfúrico que proporciona a condutividade iônica do meio, fechando o sistema eletrolítico.

- Influência da densidade de corrente

A densidade de corrente é responsável pela velocidade de formação da camada, ou seja, pela velocidade com que o alumínio é oxidado. Ela deve ser alta o suficiente para que a velocidade de formação da camada seja maior do que a velocidade de sua dissolução, sendo também alta o suficiente para quebrar a barreira de isolamento elétrico gerando pela camada em formação. Com o aumento da velocidade de formação da camada há, conseqüentemente, um aumento na produção de calor que eleva a temperatura do eletrólito, podendo haver queima da superfície da peça e irregularidades na sua formação. Para a determinação da amperagem a ser aplicada a fim de obter-se determinada densidade de corrente, faz-se também necessário o cálculo da área da peça a ser anodizada.

Sabendo que:

$$DC = \frac{\text{Corrente (A)}}{\text{Área (dm}^2\text{)}}$$

e

$$\text{Corrente} = \text{densidade de corrente} \times \text{tempo}$$

- Influência da temperatura do eletrólito

A temperatura controla a velocidade de dissolução da película de óxido formada e criação dos poros. Por um lado, a temperatura favorece a formação da camada, pois diminui a resistividade do eletrólito, obtendo-se a mesma densidade de corrente com uma menor voltagem. Por outro lado, altas temperaturas produzem camadas pulverulentas e moles, poros com grandes diâmetros, dificultando a selagem da peça. Baixas temperaturas produzem poros com pequeno diâmetro (isso acontece porque o abaixamento da temperatura diminui a dissolução da camada durante a anodização), o que aumenta a dureza da peça, porém reduz o seu poder de coloração.

Portanto, a temperatura da anodização deve ser rigidamente controlada dentro do padrão previamente estabelecido para cada finalidade de uso da peça a ser anodizada. [4]

- Influência do tempo de anodização

Há um aumento na espessura da camada anódica com o aumento do tempo de anodização, porém esse fator é limitado. O aumento do tempo de anodização aumenta também a velocidade de dissolução da camada, com conseqüente diminuição da corrente.

A fórmula abaixo pode ser usada para determinar o tempo necessário para se obter determinada espessura de filme, em função da densidade de corrente:

$$t = \frac{\mu m}{0,3 \times d}$$

onde: t (tempo em minutos)

μm : espessura do filme anódico a ser formado em micrômetros

d: densidade de corrente (A/dm^2)

- Espessura da camada pretendida

Utilizando-se os valores dos parâmetros definidos para a anodização (Tabela 2), foi realizado o cálculo para estimar a espessura da camada a ser obtida:

- Dados: Corpo de prova (cilindro oco)

- Altura: 118,68mm

- Raio interno: 29,565mm

- Raio externo: 31,58m

Cálculo da área de um cilindro oco:

$$A = 2\pi h (r + r_1)$$

$$A = 2 \pi 118,68mm (31,58mm + 29,56mm)$$

$$A = 45595,39 mm^2$$

$$A = 4,559dm^2$$

Cálculo da densidade de corrente no sistema:

$$DC = \frac{\text{Corrente}}{\text{Área}} = \frac{4,0 \text{ A}}{4,56 \text{ dm}^2} = 0,877 \text{ A/dm}^2$$

A fórmula para o cálculo da espessura de camada em função da densidade de corrente e tempo é expressa por:

$$\begin{aligned} \text{Espessura} &= 0,3 \times DC \times \text{tempo} \\ \text{Espessura} &= 0,3 \times 0,877 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2} \times 30 \text{ min} \\ \text{Espessura} &= 7,893 \text{ } \mu\text{m} \end{aligned}$$

Com os parâmetros utilizados neste processo de anodização (tabela 2), espera-se obter peças anodizadas com camada de espessura de aproximadamente 8 μm . Portanto, para a obtenção de camadas mais espessas para a utilização arquitetônica (12 à 25 μm), deve-se aumentar o tempo de imersão da peça no banho de anodização.

Por exemplo, para a obtenção de camada anódica com 15,0 μm de espessura:

- Aumento do tempo de imersão (mantendo densidade de corrente de 0,877 A/dm² e área de 4,56 dm²):

$$t = \frac{\text{Espessura}}{0,3 \times DC} = \frac{15 \mu\text{m}}{0,3 \times 0,877 \text{ A/dm}^2} = 57,0 \text{ minutos}$$

Para 15,0 μm , necessita-se que a peça fique imersa no banho de anodização durante 57 minutos, mantendo-se a densidade de 0,877 A/dm² e área original de 4,56 dm².

5.3. Processo de Anodização

5.3.1. Lavagens

Ao ser transferida de um banho para outro, a peça arrasta consigo considerável quantidade de matéria. A lavagem após cada etapa do processo de anodização é de fundamental importância para evitar a contaminação dos banhos subsequentes.

5.3.2. Sequência de Anodização

A decapagem das gancheras garante o contato efetivo das peças a serem anodizadas e o retificador (gerador de corrente contínua do sistema).

No banho de desengraxe foi feita a remoção de gorduras, óleos e graxas que se depositam na superfície do metal. Essas substâncias recobrem partes da superfície do alumínio, impermeabilizando-a e resultando na formação de camada anódica com espessura não uniforme. É também durante essa etapa que é feito a dissolução da camada natural de óxido, possuindo aproximadamente entre 0,002 – 0,05 μm de espessura, através da reação com o hidróxido de sódio.

No banho de desengraxe há a precipitação de hidróxidos na superfície da peça devido às reações com os metais que compõe a liga de alumínio (Mg, Mn, Fe, Cu). Parte desses produtos, por serem insolúveis em água, não são arrastados pela lavagem, sendo necessário que a peça seja submetida à um tratamento com ácido nítrico, no banho de neutralização. Esses produtos devem ser eliminados, pois geram não uniformidade na coloração da peça, sendo difícil sua correção.

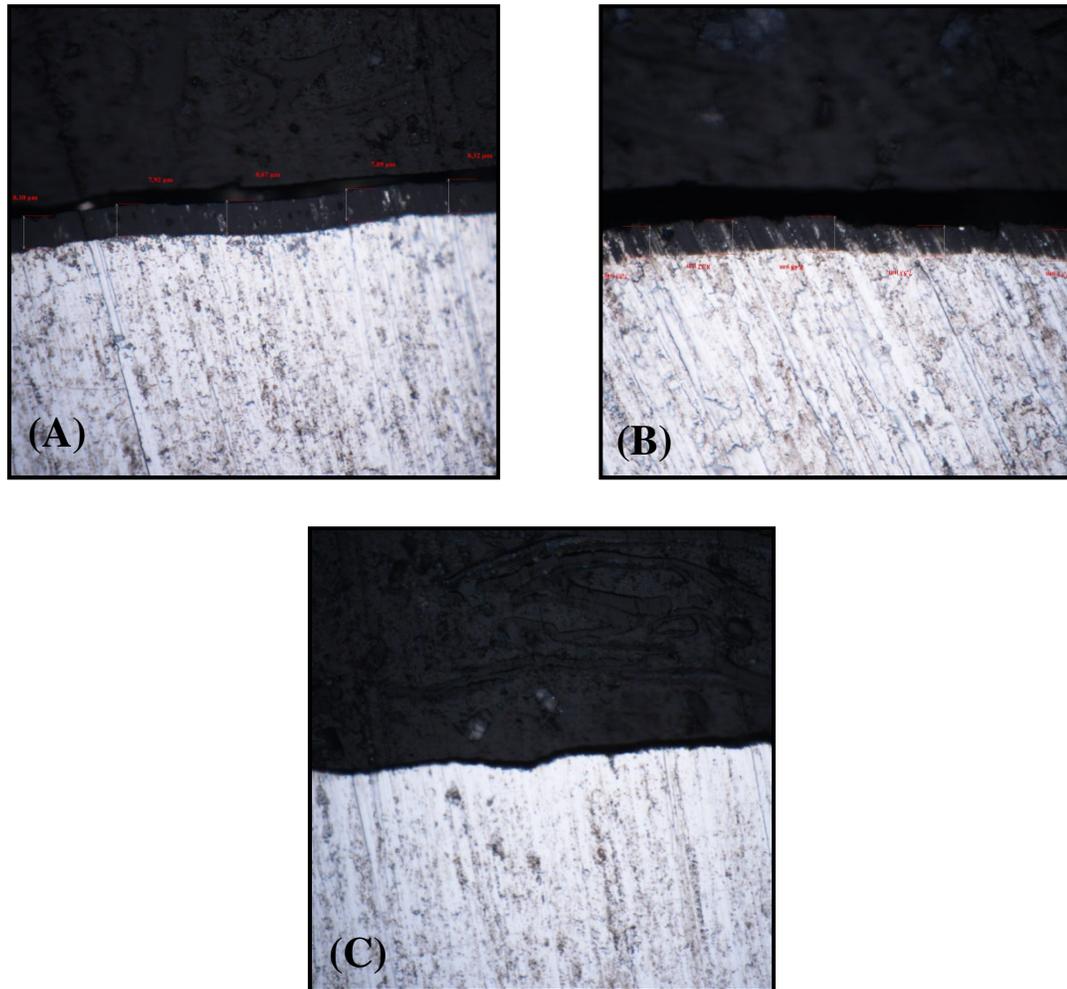
No banho de anodização, onde há a formação e crescimento da camada de óxido de alumínio, utilizou-se o processo de anodização sulfúrica, processo mais utilizado industrialmente, por fornecer filmes de óxido suficientemente duros e compactos, com boa reprodutibilidade e baixo custo.

5.4. Ensaios de Conformidade da Espessura da Camada Anódica

5.4.1. *Microscopia Óptica*

A micrografia da camada transversal do tubo de alumínio revelou a camada de anodização, observada como um filme de coloração cinza, possuindo espessura média de 8,18 μm com desvio padrão de 0,29 (Figura 9A) e espessura média de 7,91 μm com desvio padrão de 0,41 (Figura 9B). O desenvolvimento da camada de anodização formada evidencia alterações tais como ranhuras ou desníveis estruturais na superfície do metal. A camada anódica estudada mostrou-se irregular, apresentando ligeiras diferenças na espessura no decorrer da superfície da peça. Na figura 9C, a micrografia revela que não há camada de anodização, o que é esperado, já que a peça não passou pelo processo de anodização. A camada de passivação formada naturalmente, em torno de 0,002 – 0,05 μm , é muito pequena para ser detectada por microscopia óptica.

Figura 9: Micrografias da camada transversal do tubo de alumínio obtidas por microscopia óptica com aumento de 1000 x: A e B) Tubos anodizado; C) Tubo não anodizado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4: Medidas de espessura da camada anódica das amostras da Figura 9, obtidas por microscopia óptica.

Corpo de Prova	Espessura (μm)	Média	Desvio Padrão
A	8,10 - 7,92 - 8,67 - 7,89 - 8,32	8,18	0,29
B	8,48; 7,71; 8,32; 7,53 e 7,53	7,91	0,41
C	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

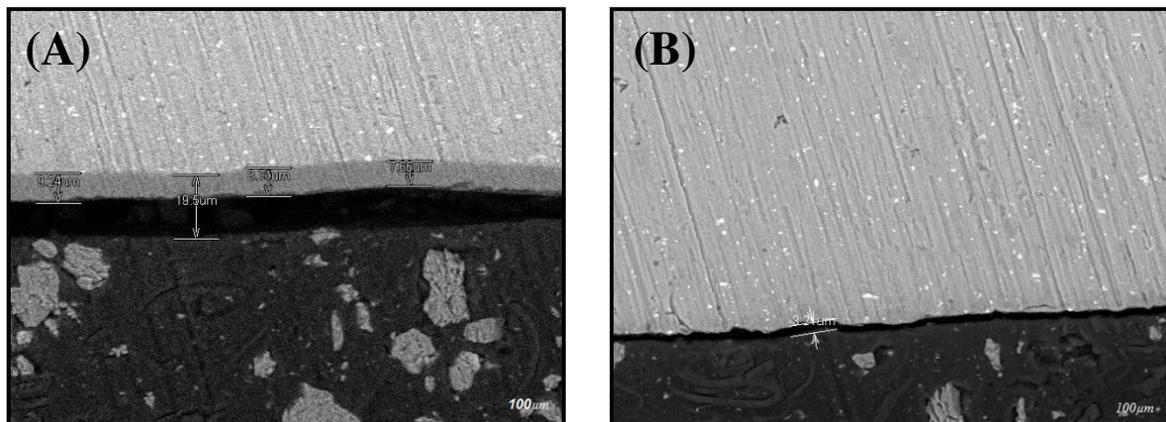
Além da camada cinza anódica, revela-se uma camada escura, na interface camada anódica / baquelite (Figura 9A e 9B) e na interface metal / baquelite (Figura 9C). O processo de embutimento em baquelite foi realizado com temperatura de aproximadamente 160 ° C, quando ocorre a fusão da mesma. Supõe-se que esta camada escura seja um espaço vazio criado com a contração da baquelite durante o seu processo de resfriamento.

5.4.2. Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura realizada com aumento de 1000x revelou um filme de camada anódica de coloração cinza, com espessura média de 8,53 μm e desvio padrão de 0,65 (Figura 10A). Essa técnica, por ser mais sensível, tornou mais evidente a irregularidade da espessura da camada anódica ao longo da superfície do metal. Esta irregularidade não prejudica a proteção do produto anodizado, contanto que em todos os pontos a camada apresente a espessura mínima requerida para a finalidade de uso da mesma. A figura 10B, da peça não anodizada, comprova que não há camada de anodização.

Figura 10 - Micrografias da camada transversal do tubo de alumínio obtidas por MEV.

A) Tubo anodizado com aumento de 1000 x; B) Tubo sem anodização.



Fonte: Laboratório de Microscopia Eletrônica – UFC.

Tabela 4: Medidas de espessura da camada anódica da amostra da Figura 10. (A) obtidas por MEV.

Corpo de Prova	Espessura (µm)	Média	Desvio Padrão
A	9,24 – 8,71 – 7,66	8,53	0,65
B	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como na microscopia óptica, a microscopia eletrônica de varredura evidencia uma camada escura, na interface camada anódica / baquelite (Figura 10A) e na interface metal/baquelite (Figura 10B). Como discutido anteriormente, supõe-se que essa camada seja resultado da compressão da baquelite durante o seu resfriamento no processo de embutimento.

Nota-se que há concordância nos resultados revelados pela microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura, concluindo-se que a microscopia óptica é suficiente para a determinação da espessura da camada de anodização, além de ser mais viável economicamente.

5.5. Defeitos Diversos Revelados Durante o Processo de Anodização

A tabela abaixo apresenta alguns dos defeitos mais comuns revelados durante o processo de anodização, suas causas, como reconhecê-los e corrigi-los.

Tabela 5: Defeitos gerais revelados durante o processo de anodização.

1.	Defeito	Marcas de círculos com vários diâmetros na parte inferior das peças
	Causa	Acúmulo de gases/ar provocado pelas gancheiras, impedindo a migração dos pigmentos para a peça
	Onde ocorre	Banho de anodização
	Correção	Posicionar as gancheiras com inclinação que permita a saída dos gases
2.	Defeito	Presença de corrosão por Pits profundos, em forma de estrelas pretas
	Causa	Contaminação por cloretos (150-200 ppm – máx)
	Onde ocorre	Banho de anodização
	Correção	Utilização de água desmineralizada/deionizada
	Defeito	Acúmulo de pó na superfície da peça (smut)

3.	Causa	Elevada dureza na água de selagem
	Onde ocorre	Selagem
	Correção	Utilizar água desmineralizada
4.	Defeito	Fosqueamento não uniforme
	Causa	Desengraxe ineficiente: presença de óleos, graxas
	Onde ocorre	Fosqueamento (ataque alcalino)
	Correção	Corrigir a solução do desengraxe / aumentar temperatura
5.	Defeito	Camada com coloração cinza escuro devido ao ataque do ácido por falta de contato elétrico suficiente
	Causa	Perda de contato elétrico durante a anodização
	Onde ocorre	Banho de anodização
	Correção	Garantir bom contato elétrico
6.	Defeito	Queima da peça: camada de anodização com depósito de pó branco.
	Causa	Densidade de corrente exagerada, alta temperatura e ineficiência na agitação do banho
	Onde ocorre	Banho de anodização
	Correção	Controlar os parâmetros pré-estabelecidos para a anodização (Temperatura, densidade de corrente, agitação)

Fonte: [15] Noções básicas sobre o processo de anodização do alumínio e suas ligas – parte 12.

CONCLUSÃO

Este trabalho explanou um dos procedimentos mais utilizados industrialmente para a obtenção de produtos anodizados: a anodização em meio sulfúrico, desde os princípios teóricos até ao desenvolvimento prático em escala de bancada. A metodologia utilizada para este trabalho mostrou-se eficiente para a anodização de produtos para bens de consumo, discutindo-se alterações nas condições do banho de anodização tal como o tempo de imersão, para a obtenção de anodização para uso arquitetônico. Com o conjunto dos ensaios de microscopia, foi possível a revelação da camada anódica, concluindo-se que a microscopia óptica é uma técnica efetiva na determinação da espessura da camada, sendo suficiente o seu uso.

A realização deste trabalho permitiu a vivência diária do processo de anodização, as etapas que o compõe, os desafios que a técnica traz e o aprofundamento do conhecimento da mesma. Esse aprendizado é fundamental, visto que a anodização é uma técnica eletroquímica há muito difundida industrialmente, que traz para o mercado bens ornamentais, arquitetônicos, assim como materiais para a construção civil elaborados com maior resistência à corrosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P37_RT62_Perfil_do_Alumxnio.pdf/0714cb96-3c40-413c-8091-817ce96aa7c7, Acessado em 09/04/2016.
- [2] J.G.D.R. Cardoso, P.S.L. De Carvalho, P.S.M. Da Fonseca, M.M. Da Silva, M.A.R. Rocio, *Insumos Básicos* (2010) 43–88.
- [3] <http://www.abal.org.br/aluminio/vantagens-do-aluminio/>, Acessado em 10/04/2016
- [4] E.P. De Castro, R.M. De Sillos, *Manual Técnico - Tratamento de Superfícies* (2012).
- [5] <http://coscaes.com.br/o-que-e-anodizacao/>, Acessado em 18/04/2016
- [6] A.A. Meneghesso, *Corrosão & Proteção* (2008) 33.
- [7] L. C P A Anilinas, (n.d.).
- [8] Eugen. G. Leuze Verlag, *Galvanotécnica Prática*, Editora Polígono S.A., 1973.
- [9] S. Lima de Moura, *Aluminum anodizing - The study of the structure of the alumina layer* (2013).
- [10] <http://www.kashima-coat.com/global/aluminum/anodized-aluminum.html#membrane>, Acessado em 15/04/2016 (n.d.).
- [11] H. Magalhães de Almeida, Antônio; Motta Magalhães, *Anodização, Cromatização E Pintura Do Alumínio*, ABTS - Associação Brasileira de Tratamentos de Superfície, n.d.
- [12] http://www.apal.pt/pdf/et_02.pdf, Acessado em 12/04/2016
- [13] ABTS, *Curso Básico de Galvanoplastia*, 5^a ed., ABTS - Associação Brasileira de Tratamentos de Superfície, 1988.
- [14] L. C P A - Comércio Paulista de Anilinas, *Coloração Eletrolítica*, (n.d.).
- [15] Adeval; Meneghesso, Antônio; Inácio Graccioli, João. *Noções básicas sobre o processo de anodização do alumínio e suas ligas – parte 12.*