

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO PARA ANODIZAÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE CÁTODO DE CARBONO EM PARAFUSOS BIOMÉDICOS¹

DEVELOPMENT OF A PROCESS FOR ANODIZING USING A CARBON CATHODE IN BIOMEDICAL SCREWS

Poliana Listonei¹
Guilherme Pauli¹
Lucas Ferreira¹
Ana Julia Lovatel¹
Mário Wolfart Jr.¹

¹Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna

RESUMO: A partir da intensificação do processo de Globalização Tecnológica e o advento da chamada Indústria 4.0 e seus processos supereficientes, inúmeras áreas da indústria de transformação buscam o aperfeiçoamento técnico como única garantia de oferecer aos clientes produtos de qualidade competitiva ao nível global, além da obtenção de processos eficientes e de baixo custo, capazes de reduzir os custos finais e assim, apresentar preços competitivos, destacando-se nesse sentido a indústria médica e odontológica. O presente estudo parte da importância dos biomateriais para a indústria biomédica, especialmente o caso do titânio. Em parceria firmada com a empresa Protus Materiais para Medicina, foi idealizado um novo processo de anodização de alguns corpos de prova de titânio puro Grau 2, utilizando eletrólito de ácido sulfúrico para coloração dos corpos de prova. As cores obtidas podem ser utilizadas para fins de identificação de componentes fabricados com as liga de titânio, e esta tecnologia pode vir a ser implantadas em diversas empresas da área de biomateriais. Conclui-se, a respeito do novo processo, que foi possível obter a coloração dos corpos de prova exatamente como esperado, caracterizando-se uma inovação de processo.

Palavras-Chave: Indústria Biomédica; Biomateriais; Ligas de Titânio; Anodização Eletroquímica.

ABSTRACT: From the intensification of the process of Technological Globalization and the advent of the so-called Industry 4.0 and its super efficient processes, numerous areas of the manufacturing industry seek technical improvement as the only guarantee of offering to its customers products of competitive quality at a global level, in addition to obtaining efficient and low-cost processes, capable of reducing final costs and thus offering competitive prices, with emphasis on the medical and dental industry in this regard. The present study starts from the importance of biomaterials for the biomedical industry, especially the case of titanium. In partnership with the company Protus Materials for Medicine, a new anodizing process was designed for some specimens of pure titanium Grade 2, using sulfuric acid electrolyte to color the specimens. The colors obtained can be used to identify components manufactured with titanium alloys, and this technology could be implemented in several companies in the field of biomaterials. It is concluded, regarding the new process, that it was possible to obtain the color of the specimens exactly as expected, characterizing a process innovation.

Keywords: Biomedical Industry; Biomaterials; Titanium Alloys; Electrochemical Anodizing.

¹ Este artigo se baseia em trabalho apresentado de forma oral no evento *Secitec 2020*, realizado pelo IFC Campus Luzerna em outubro de 2020.

INTRODUÇÃO

Com o avanço das novas tecnologias de ponta ligadas à área da medicina e da odontologia, cada vez mais ligas como as de titânio são utilizadas como biomateriais para implantes e próteses. Graças a uma combinação única de propriedades relacionadas à sua resistência à corrosão, e à sua boa biocompatibilidade, o titânio e suas ligas podem ser utilizados em aplicações biomédicas, sendo considerado em muitos casos como o metal mais indicado para a fabricação de diversos componentes utilizados como implantes e próteses.

No corpo humano, o titânio não exerce nenhuma função específica em termos biológicos, contudo, por realizar boas conexões com o osso adjacente e possuir boas propriedades mecânicas, geralmente, os implantes de titânio não são rejeitados pelo organismo, tornando cada vez mais importante o desenvolvimento de pesquisas e estudos para o desenvolvimento de novas aplicações biomédicas a partir do mesmo. Quando aplicadas para fins biomédicos, as ligas de titânio passam a possuir alta responsabilidade mecânica, bem como assumem um papel de suma importância na osseointegração do implante tecido/osso adjacente (LANDUCI, 2016).

O titânio é um elemento altamente reativo, possuindo bastante afinidade com o oxigênio e, sua resistência à corrosão está intrinsecamente ligada à formação da uma camada de óxido (TiO_2), que reveste a superfície do material e a protege. Quando é feita a ruptura dessa camada, o material oxida e, assim, forma-se uma nova camada oxidada. Como supracitado, ao interagir com o oxigênio, o material é capaz de formar, em cerca de milissegundos, uma camada de óxido de 1 a 10 nm de espessura. A fina camada é estável em meios reacionais, como em condições fisiológicas. As dimensões dessa camada ainda são quesito de divergência entre diversos autores (GRAVINA, 2010; MANHABOSCO, 2009; MOHAMMED et. al, 2014).

A busca pelo aperfeiçoamento da utilização do titânio como material biomédico fez com que diversos processos surgissem com o intuito de avaliar e trabalhar-se com as propriedades do mesmo. A anodização é um processo eletroquímico que possibilita realizar-se a formação da camada de óxido de forma controlada, visando a melhora da resistência à corrosão do material. Desta forma, a importância da formação da camada se dá uma vez que a camada de óxido que reveste toda a superfície é a característica que concede ao material seu bom desempenho fisiológico e, portanto, conhecer as suas características e poder manipulá-las é de extrema importância.

Realizada em uma célula eletroquímica contendo uma solução eletrolítica apropriada, a anodização conta com polo positivo (ânodo), um polo negativo (cátodo) e uma fonte de corrente contínua. O ânodo trata-se do material a ser anodizado, já o cátodo é um material inerte de referência, e, por fim, ambos são imersos na solução eletrolítica e conectados à fonte. A espessura do filme é dada em função do valor de tensão na qual foi realizada a anodização, no caso específico do titânio (BONATTO, 2009; SOUZA, 2002).

A partir da realização deste processo resulta uma peculiaridade, a camada de óxido formada adquire uma coloração sequencial que aproxima-se do tom avermelhado, proporcionalmente ao aumento da tensão aplicada no processo. A coloração do filme de óxido produzido através da anodização possui relação direta com a espessura do óxido e depende dos parâmetros de processo (tensão, eletrólito, cátodo e ânodo) utilizados para a formação da camada, mesmo que o óxido seja transparente a refração da luz faça com que, para cada espessura, obtenha-se uma

cor característica (LIU et al., 2016; SOUZA, 2002). De acordo com Copelli et al. (2006), cada cor possui uma frequência que é seu número de identificação, todo movimento ondulatório pode ser identificado por sua frequência ou pelo seu comprimento de onda e a frequência, por sua vez, aumenta de modo inversamente proporcional ao comprimento de onda.

A coloração da camada de óxido pode ser utilizada em próteses e implantes para fins de identificação, uma vez que a coloração é característica atrativa e bastante visível. Sharma (1992) constatou em seu trabalho que a escala cromática da camada de TiO_2 pode variar de cores como marrom claro, em tensões mais baixas, até rosa em tensões mais elevadas. A utilização da coloração para fins de identificação é capaz de auxiliar os processos que utilizem o material, uma vez que a visualização cromática é de fácil identificação.

Projetos realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos Metalúrgicos (LABEMM) do Instituto Federal Catarinense - *Campus* Luzerna, em 2018, foram capazes de reproduzir a coloração em amostras de titânio da liga Titânio Comercialmente Puro Grau 2 (Ti CP Grau 2), utilizando o processo da anodização com cátodos de Ti CP Grau 2 e eletrólito de ácido fosfórico. No presente artigo será explorada a aplicação de um novo processo de anodização com cátodos de placas de carbono e eletrólito de ácido sulfúrico. Os ensaios serão capazes de demonstrar a eficiência do processo contendo tais variáveis.

A empresa parceira do projeto vinculado, Protus Materiais para Medicina, empresa localizada na Incubadora Tecnológica de Luzerna - SC, situada a poucos metros do Campus Luzerna do IFC e que com ele mantém intensa parceria em processos de inovação tecnológica, possui uma demanda de peças com ligas de titânio, contudo sua linha de produção não possui os equipamentos para o desenvolvimento do novo processo e, por isso, a parceria poderá disponibilizar à empresa um novo procedimento a ser explorado comercialmente.

Nesta linha, o presente trabalho tem como intuito principal a inovação através de um novo processo de anodização eletroquímica na liga de titânio TiCP Grau 2 para obter superfícies de diferentes colorações, com fins de identificação das diferentes peças e próteses biomédicas, representando uma inovação de processo, bem como impulsionando o aperfeiçoamento de novas pesquisas e o desenvolvimento de técnicas similares em outras empresas do Arranjo Produtivo Local Eletrometalomecânico de Luzerna (ZAAK SARAIVA; MOREJON, 2020) que trabalhem com ligas de titânio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi desenvolvido um protocolo de segurança do ensaio para precaver possíveis acidentes, abordando assuntos como uso de corrente elétrica e utilização de ácidos.

Os corpos de prova foram fabricados da liga Titânio comercialmente puro Grau 2 (Ti CP Grau 2) com dimensões de 15 x 15 mm (corte a jato d'água) com um furo lateral (furação com a furadeira de bancada) para fixação da passagem de corrente. Posteriormente, os mesmos passaram por uma limpeza ultrassônica, imersos em acetona, por 15 minutos, e imersão no reagente kroll (2 mol de $HF+10$ mL HNO_3+94 mL de H_2O) com o objetivo de remover as impurezas aderidas à superfície do mesmo.

A anodização foi realizada com um eletrólito de ácido sulfúrico, na concentração de 0,8%, sendo 644,67 ml H_2O + 5,33 ml H_2SO_4 , a célula

eletroquímica continha 475 ml de solução. Os cátodos foram placas de carbono e o ânodo da própria liga TiCP Grau 2, com uma fonte de tensão regulável.

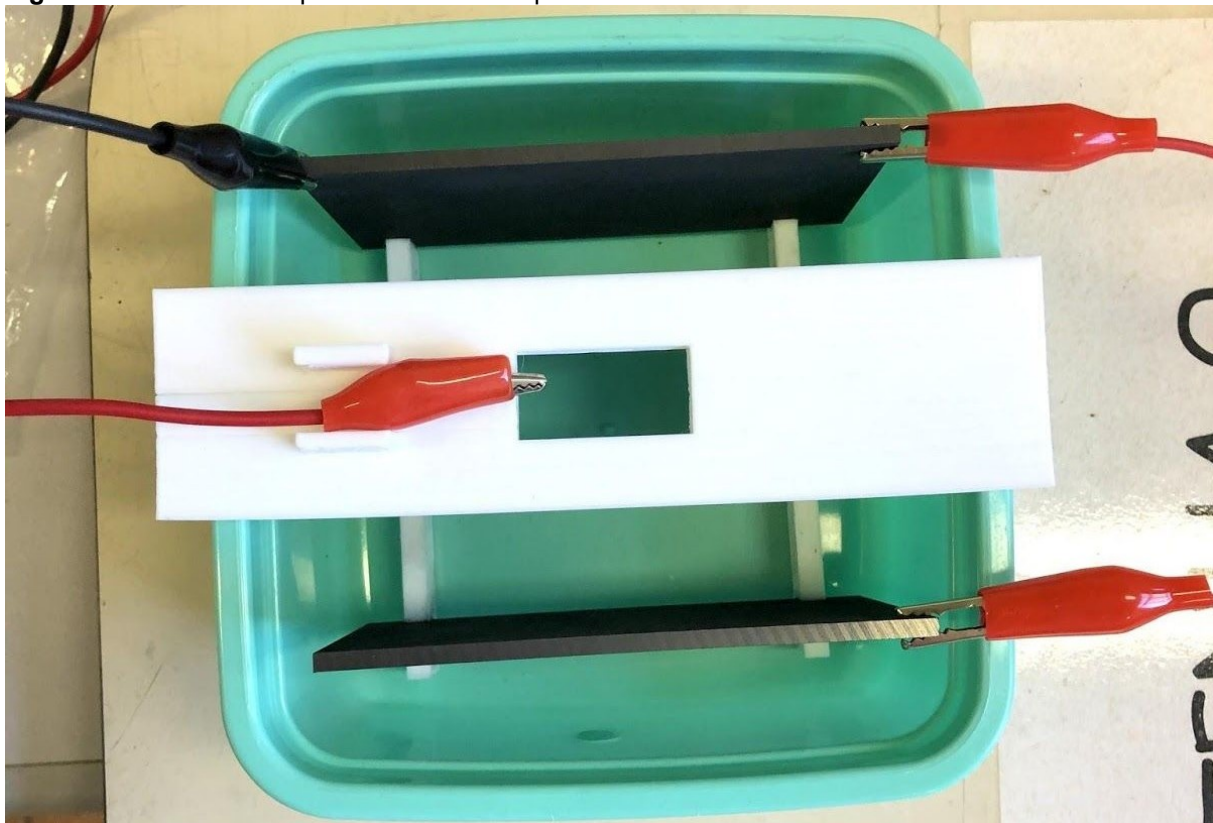
O tempo de ensaio foi de 60 segundos para a formação da cor. Com a montagem da célula eletroquímica, foi realizada a anodização em uma escala de 5V a 70V, com intervalo de 2,5V e de 70V a 100V com intervalo de 5V. Por fim, os componentes anodizados passaram por inspeção visual para a constatação da coloração através da anodização. Todos os procedimentos, com exceção do corte e furação dos corpos de prova, foram realizados no ambiente do Laboratório de Ensaio Mecânicos e Metalúrgicos (LABEMM) do IFC Luzerna.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível desenvolver a coloração dos corpos de prova utilizando os cátodos de carbono, passagem de corrente feitas por fios de platina e eletrólito de ácido sulfúrico. Foram feitos dispositivos impressos em 3D a fim de sustentar os cátodos de forma paralela, bem como fazer a sustentação do polo positivo da fonte.

Na Figura 1, o fio preto do lado esquerdo é a ligação do polo negativo, que trabalha em conjunto com os dois fios vermelhos do lado direito, responsáveis por transferir a corrente de um cátodo à outro. O fio vermelho do lado esquerdo faz a ligação do polo positivo, nele, posteriormente, foi fixado o fio de platina e os corpos de prova anodizados.

Figura 1 – Célula Eletroquímica utilizada no processo.




































Fonte: Os autores (2020).

Foi realizada a análise de todos os corpos de prova por meio de inspeção visual realizada através de um microscópio estéreo (Optika B1000).

A escala de cores obtida (Tabela 1) faz a seguinte sequência: dourado - roxo - azul - verde - amarelo - rosa claro.

Tabela 1 – Tensão aplicada *versus* coloração obtida

Tensão	Cor	Tensão	Cor	Tensão	Cor	Tensão	Cor
5V		7,5V		10V		12,5V	
15V		17,5V		20V		22,5V	
25V		27,5V		30V		32,5V	
35V		37,5V		40V		42,5V	
45V		47,5V		50V		52,5V	
55V		57,5V		60V		62,5V	
65V		67,5V		70V		75V	
80V		85V		90V		95V	
100V							

Fonte: Os autores (2020).

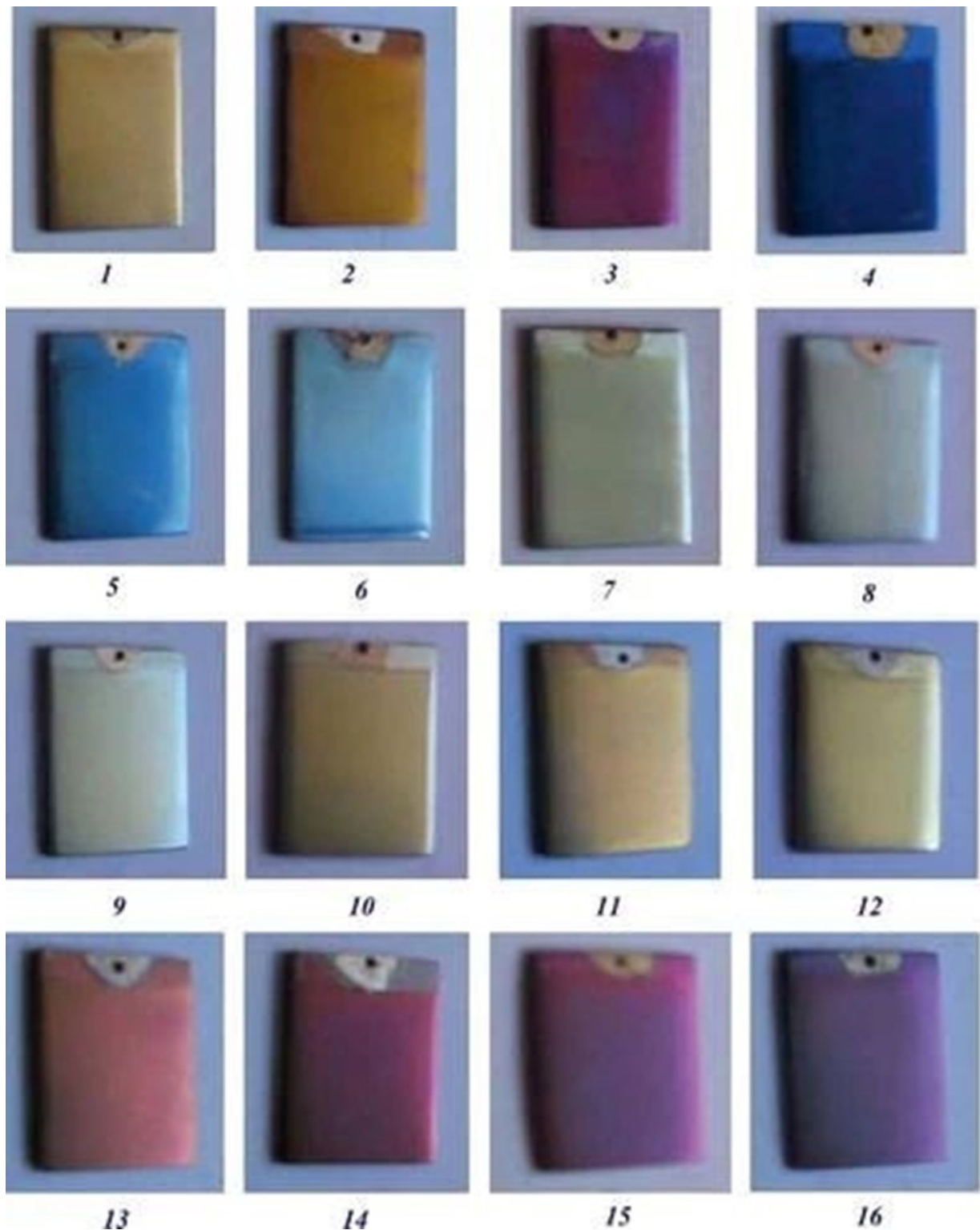
Pode-se perceber na Tabela que após a aplicação de tensões superiores a 80V as mudanças na coloração são pouco visíveis, o que pode indicar que a camada chegou ao seu máximo.

Essas cores formadas na superfície do material são chamadas de cores de interferência, não havendo pigmentos associados à produção das diferentes colorações.

Sabe-se que a causa principal da formação das diversas cores apresentadas na superfície do titânio em processos de anodização é dada pela interferência das ondas na camada de óxido (KARAMBAKSH, 2011).

As cores obtidas no novo processo aqui apresentado são semelhantes à reportadas por outros autores, como Karambakhsh (2011), cujas colorações obtidas em processo similar são reproduzidas na Figura 2, na próxima página.

Figura 2 – Diferentes cores formadas na superfície do titânio por anodização em ácido sulfúrico.



Fonte: Reproduzido de Karambakhsh (2011).

Como se pode perceber, o projeto aqui apresentado permitiu a obtenção de diversas cores para a superfície do titânio, praticamente similares às cores descritas na literatura para processos similares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar um novo processo de anodização eletroquímica na liga de titânio TiCP Grau 2 para obter superfícies de diferentes colorações, com fins de identificação das diferentes peças e próteses biomédicas.

Foi possível desenvolver, a partir da anodização com eletrólito de ácido sulfúrico, a coloração de corpos de prova da liga de Titânio Comercialmente Puro Grau 2. A camada de óxido formada auxilia na melhora da resistência à corrosão dos corpos de prova e, quando se trata de um material a ser implantado em organismos vivos, sua osseointegração está diretamente ligada à resistência à corrosão.

As cores obtidas podem ser utilizadas para fins de identificação de componentes fabricados com a liga de titânio, e o processo desenvolvido pode vir a ser implantado em empresas que trabalhem com biomateriais, gerando uma inovação na linha de produção, bem como nos seus produtos comercializados.

Julga-se que o processo aqui apresentado representa uma inovação de processo, e espera-se que estes resultados possam impulsionar o aperfeiçoamento de novas pesquisas e o desenvolvimento de técnicas similares em outras empresas do Arranjo Produtivo Local Eletrometalomecânico de Luzerna que trabalhem com ligas de titânio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Núcleo de Inovação Tecnológica do Instituto Federal Catarinense, NIT-IFC, pelo financiamento do projeto.

Agradecimento especial também é dirigido à empresa Protus Materiais para Medicina, pelo apoio integral ao desenvolvimento da pesquisa.

Finalmente, os autores dedicam agradecimento obrigatório aos colegas do Laboratório de Ensaio Mecânicos e Metalúrgicos, LABEMM, do IFC Campus Luzerna, por todo o auxílio e apoio.

REFERÊNCIAS

BONATTO, Fernando. **Síntese e caracterização de nanoestruturas formadas pela anodização de titânio**. 2009.

COPELLI, Anna Cecília et al. **Leituras de física: Óptica**. São Paulo: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física Instituto de Física da USP, fev. 2006.

GRAVINA, PATRÍCIA ABDO. Biomimetização de diferentes superfícies de titânio com fibronectina. **Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro**, 2010.

Journal of materials engineering and performance, v. 20, n. 9, p. 1690-1696, 2011.

KARAMBAKSH, Ali et al. Pure commercial titanium color anodizing and corrosion resistance.

LANDUCI, Michel Cinto. **Caracterização das propriedades mecânicas de biomateriais metálicos**. Bauru-SP. 2016.

LIU, Z. J. et al. Anodic film growth of titanium oxide using the 3-electrode electrochemical technique: effects of oxygen evolution and morphological characterizations. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 163, n. 3, p. E75-E82, 2016.

MANHABOSCO, Taíse Matte. **Tribocorrosão da liga Ti6Al4V, Liga Nitretada, Ti6Al4V revestida por filmes diamond-like carbon (DLC) e obtenção eletroquímica de filmes DLC**. Porto Alegre, 2009.

MOHAMMED, Mohsin Talib; KHAN, Zahid A.; SIDDIQUEE, Arshad Noor. Surface modifications of titanium materials for developing corrosion behavior in human body environment: A review. **Procedia Materials Science**, v. 6, p. 1610-1618, 2014.

SHARMA, A. K. Anodizing titanium for space applications. **Thin Solid Films**, v. 208, n. 1, p. 48-54, 1992.

SOUZA, Maria Eliziane Pires, et al. **Estudo do processo de anodização por voltagem modulada do titânio e da liga Ti-6Al-7Nb**. 2002.

ZAAK SARAIVA, Ilyushin; MOREJON, Camilo Freddy Mendoza. Concentração Industrial, Inovação Tecnológica e Economia do Conhecimento: Caracterizando o Arranjo Produtivo Eletrometalomecânico de Luzerna – SC. In: **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, [s.l.], dez. 2020. DOI: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35407.30888/2>>.

SOBRE OS AUTORES

Poliana Listone. – Bolsista de Iniciação Científica. (*Técnica em Mecânica, IFC, 2019*). Estudante do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFC, Luzerna, polibehrend19@gmail.com.

Guilherme Pauli – Bolsista de Iniciação Científica. Estudante do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFC, Luzerna, guipauli04@gmail.com.

Lucas Ferreira – Bolsista de Iniciação Científica. Estudante do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFC, Luzerna, lucas.v.ferreira13@gmail.com.

Ana Júlia Lovatel. – Bolsista de Iniciação Científica. Estudante do Curso Técnico em Segurança do Trabalho, IFC, Luzerna, anajulialovatel@gmail.com.

Mario Wolfart Jr. – Orientador. (*Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, 2002*), Professor do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFC, Luzerna, mario.wolfart@ifc.edu.br.