

DEPOSIÇÃO DE FILME DE CARBONO TIPO DIAMANTE SOBRE A LIGA TI-6AL-4V

Guilherme Sales Henrique (IC) e Marcos Massi (Orientador).

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Filmes de carbono tipo diamante (*Diamond-like-Carbon*, DLC) possuem excelentes propriedades, como por exemplo alta dureza, resistência ao risco, excelente resistência à corrosão e biocompatibilidade. Essas propriedades permitem que esse material seja utilizado em diversos setores industriais, tais como aeronáutica e saúde. Uma das formas de produzir esse filme é através da técnica *magnetron sputtering*, utilizando a tecnologia de plasma. Porém, a adesão entre o filme e o substrato de materiais metálicos pode ser prejudicada, devido a tensões internas do filme. Uma forma de solucionar esse impasse é mediante a intercamadas. Neste trabalho foram depositados filmes finos de carbono tipo diamante com e sem intercamada de cromo, através da técnica de magnetron sputtering, e analisado a adesão ao substrato e sua estrutura, por meio do indentador de Rockwell C e espectroscopia Raman.

Palavras-chave: DLC; Sputtering; Intercamada, Tecnologia de Plasma.

ABSTRACT

Diamond-like carbon films (DLC) have excellent characteristics such as high hardness, scratch resistance, excellent corrosion resistance and biocompatibility, which are important for many industrial sectors such as aeronautics and health. Magnetron sputtering technique is frequently used to produce these films. However, adhesion between films and metal substrates must be high enough to avoid the delamination of the film. One way to increase this adhesion is to use interlayers. In this work, thin diamond-like carbon films were deposited with and without chrome interlayer, using the magnetron sputtering technique. The films were analyzed by Rockwell C identifier, profilometry and Raman spectroscopy.

Keywords: DLC; Sputtering; Interlayer, Plasma Technology.

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução tecnológica, a qualidade e a expectativa de vida das pessoas tem aumentado. Com essa maior longevidade alguns problemas passam a ser cada vez mais recorrentes como por exemplo a osteoporose e a displasia do quadril, o que implica muitas vezes na necessidade de implantação de próteses, que em geral são constituídas de materiais metálicos, como a liga Ti-6Al-4V. No caso de implantes de articulações, o atrito e o contato com fluidos corporais podem causar liberação de íons desses metais no corpo do paciente. Esses íons podem causar complicações para a saúde, como a doença de *Alzheimer*, osteomalacia, osteólise [FERREIRA et al, 2018; MORAIS, 2008]. Essa liga também é muito empregada em implantes odontológicos, que em contato com a saliva pode causar a liberação de íons e promover desconfortos de hipersensibilidade local [MORAIS, 2008]. Uma maneira de evitar estes problemas, é recobrir as próteses com filmes finos de carbono amorfo nanoestruturado. Entre as técnicas empregadas para a realização desses recobrimentos, a tecnologia de plasma se destaca por ser limpa, eficiente e bastante controlável, além de ser compatível com as exigências da área médica [BEZERRA et al., 2017; LEMES, 2008]. Neste projeto, um reator a plasma com catodos do tipo *magnetron* foi usado para a deposição de filmes de carbono tipo diamante sobre substratos da liga de titânio anteriormente mencionada e com uma intercamada de cromo.

1.1 Problema de Pesquisa

Entre os problemas apresentados pela liga Ti-6Al-4V para aplicação nas áreas médica e odontológica, podem ser citadas suas inadequadas propriedades tribológicas, tais como alta rugosidade e baixa resistência ao desgaste [ZHANG et al. 2013] com isso não apresenta boa resistência a abrasão e desgaste mecânico, além de facilitar sua lixiviação, o que gera a formação de produtos de corrosão, que são íons metálicos dos elementos presentes na liga.

Como mencionado anteriormente um problema encontrado em próteses metálicas e em implantes odontológicos é a liberação de íons metálicos no corpo, que pode causar efeitos indesejados na histologia próxima ao implante [LEMES, 2008]. Ensaios feitos em solução de Hanks (solução salina tamponada com fosfatos) mostraram que quando a rugosidade aumenta, a corrosão é acelerada e a liberação de íons aumenta [LEMES, 2008].

Pensando nisso, no presente trabalho depositaram-se filmes de carbono tipo diamante sobre a liga Ti-6Al-4V, verificando-se suas características estruturais e de adesão.

1.2 Justificativa

Os filmes de carbono amorfo nanoestruturado agem como uma camada que atua como barreira inibindo a liberação de íons metálicos. Além disso, quando depositado na parte fixa da prótese, por ser um material biocompatível, auxilia na adesão e fixação do material

implantado. Já seu baixo coeficiente de atrito e alta dureza evitam desgaste e corrosão na parte móvel da prótese, promovendo maior tempo de vida dos implantes, evitando reoperações.

1.3 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é definir parâmetros de deposição de filmes de carbono tipo diamante (DLC) sobre a liga Ti-6Al-4V. Para isso, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- Depositar filmes de DLC em diferentes condições experimentais.
- Obter filmes de DLC com e sem intercamada de cromo, bem aderidos aos substratos da liga Ti-6Al-4V.
- Correlacionar os resultados obtidos com as condições de deposição dos filmes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas envolvidos neste trabalho, a fim de proporcionar o embasamento teórico necessário para sua compreensão.

2.1 Carbono tipo diamante (DLC)

No início dos anos 70, foi publicado estudo sobre filmes finos de carbono tipo diamante. Os filmes obtidos nesse trabalho apresentaram características físicas semelhante das propriedades física do diamante, por isso o nome carbono tipo diamante, as propriedades presentes foram alta dureza, resistência ao risco e excelente resistência à corrosão em soluções fortemente ácidas [DONNET; ERDEMIR, 2008].

Sua estrutura amorfa e a capacidade do carbono sofrer hibridização, sendo elas sp^3 , sp^2 e sp do carbono, garantem suas propriedades físico-químicas, dependendo das concentrações dessas hibridizações.

A hibridização sp^3 é responsável pelas suas propriedades mecânicas, como por exemplo, alta dureza, resistência ao desgaste. Por outro lado, a hibridização sp^2 fornece as características elétricas e o baixo coeficiente de atrito.

Os filmes finos de carbono tipo diamante vem sendo empregados em diversas aplicações biomédicas. Devido as suas características de alta biocompatibilidade, alta resistência a corrosão [ROY; LEE, 2007] e [DEARNALEY; ARPS, 2005]. Uma de suas aplicações é na ortopedia, aonde G. Dearnaley e J. H. revestiram com filmes finos de DLC

articulações confeccionadas em Co-Cr e após o revestimento houve uma significativa redução na taxa de corrosão.

2.2 Liga de titânio Ti-6Al-4V

A liga Ti-6Al-4V é muito utilizada na área médica como biomaterial em implantes ortopédicos parciais ou totais de joelho, cotovelo, ombro, quadril e também parafusos de fixação óssea para mandíbula e maxila, assim como em implantes dentários [LEMES 2008].

Apesar de mostrar uma excelente biocompatibilidade e propriedades mecânicas, sua tribologia não é adequada para algumas aplicações médicas, devido à baixa performance sob ações abrasivas e baixa resistência ao desgaste mecânico, causados pelos altos valores de coeficiente de atrito [NIBENNANOUNE et al, 2012]. Isso colabora com a dissolução dos elementos da liga no corpo, tanto como produtos de corrosão ou por lixiviação.

Após longos períodos de tempo de utilização deste tipo de liga, íons metálicos de titânio, vanádio e alumínio vão sendo liberados no corpo [NIBENNANOUNE et al, 2012] e seus íons podem ter efeitos que alterem a histologia próxima ao implante. Além de migrarem para a corrente sanguínea e através dela para diferentes órgãos do corpo. Estudos feitos por [MORAIS, 2008] mostraram que as concentrações de alumínio, vanádio e titânio sofreram variações em suas concentrações quando comparados antes e depois da implantação da liga. Ainda assim, o alumínio e o vanádio são elementos endurecedores da liga de titânio, que é o que confere a liga as propriedades mecânicas desejadas para aplicações em implantes ósseos e dentais [ANDRADE et al. 1999] portanto acabam sendo necessários para essas aplicações.

2.3 Intercamadas

Um dos problemas dos filmes de DLC é a sua baixa adesão em materiais metálicos. Essa baixa adesão é devido ao alto nível de tensões residuais internas, geradas pelo bombardeamento de partículas durante o processo de deposição, e, também, pela diferença entre os coeficientes de expansão térmica do filme e das ligas metálicas. Outro fator que contribui para o processo de descolamento do filme é a baixa afinidade entre o filme de DLC e as ligas metálicas. [CEMIN, 2015]

Para solucionar esse problema utiliza-se intercamadas, depositadas entre o substrato e o filme. Um dos elementos utilizados como intercamada é o silício, porque pode ser facilmente encontrado na forma líquida ou gasosa, permitindo a utilização da técnica PVD [NOTHE et al, 2001]. Um fator importante do material utilizado como intercamada, é que o coeficiente de expansão térmica esteja entre o do substrato e o do filme, para que assim as tensões interfaciais sejam atenuadas [WEI et al, 2008]. Outra característica é que esses materiais de intercamadas ajudam a aumentar a reatividade com o filme e com o substrato,

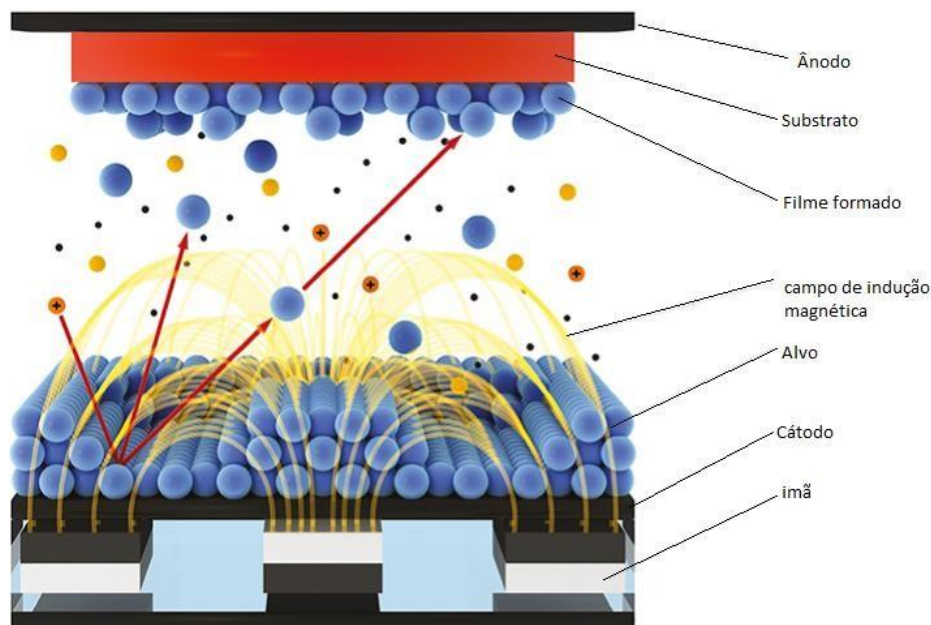
gerando ligações químicas mais fortes, causando um aumento na adesão filme/substrato [PENG et al, 1998].

2.4 Técnicas de deposição de filmes finos

Existem diversas formas de depositar um determinado material na superfície de um substrato, formando assim um filme fino. Dentre elas destaca-se a técnica de “pulverização catódica” (*sputtering*) que é um processo de deposição física na fase vapor.

A Figura 1 mostra um diagrama esquemático do processo de pulverização catódica, onde átomos do material alvo são ejetados devido ao impacto de íons de um gás parcialmente ionizado e à baixa pressão [NETO, 2014]. Esses íons são provenientes de um plasma de argônio, que pode ser gerado por uma variedade de fontes, como por exemplo: corrente contínua, radio frequência ou pulsos de alta tensão. As partículas ejetadas do alvo atravessam o plasma, e parte deles são depositados sobre o substrato, formando um filme fino. O posicionamento de ímãs permanentes atrás do alvo promove um aumento considerável na taxa de deposição do filme desejado. Isso ocorre devido a interação entre o campo magnético (dos ímãs) e o campo elétrico da descarga, que promove o aprisionamento de elétrons (Figura 1), aumentando assim a possibilidade de novas ionizações e, com isso, uma maior densidade de plasma e de número de colisões deste com o alvo.

Figura 1 – Esquema de pulverização catódica.

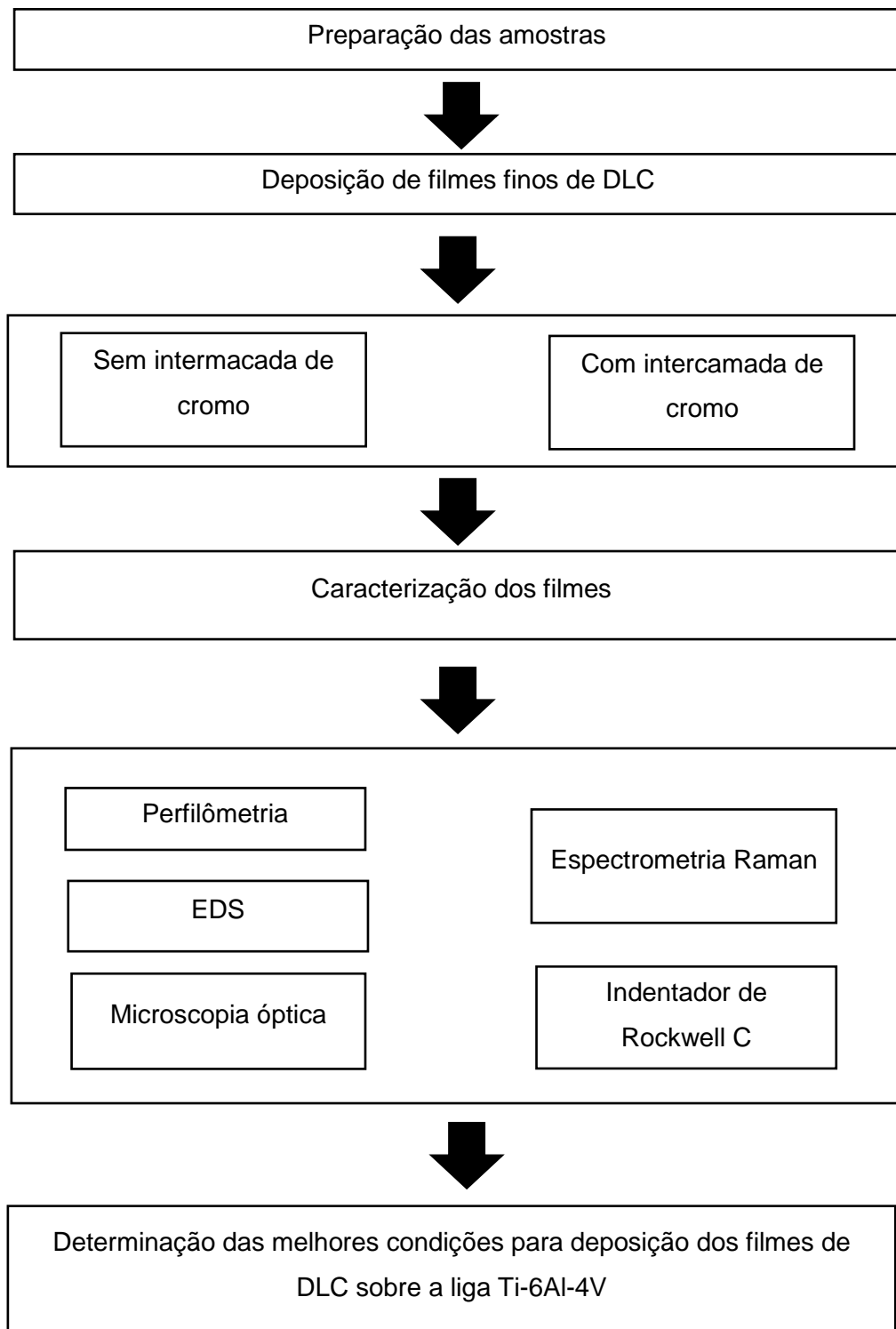


Fonte: Adaptado de <<https://www.visual-science.com/projects/magnetron-sputtering/technical-illustration/>>

3. METODOLOGIA

Neste tópico é apresentado um diagrama esquemático (diagrama 1) da metodologia que foi realizada durante o trabalho. É apresentado também um detalhamento dos métodos que foram utilizados e suas importâncias.

Diagrama 1 - Esquema a ser seguido para realização do trabalho.



3.1 Preparação das amostras

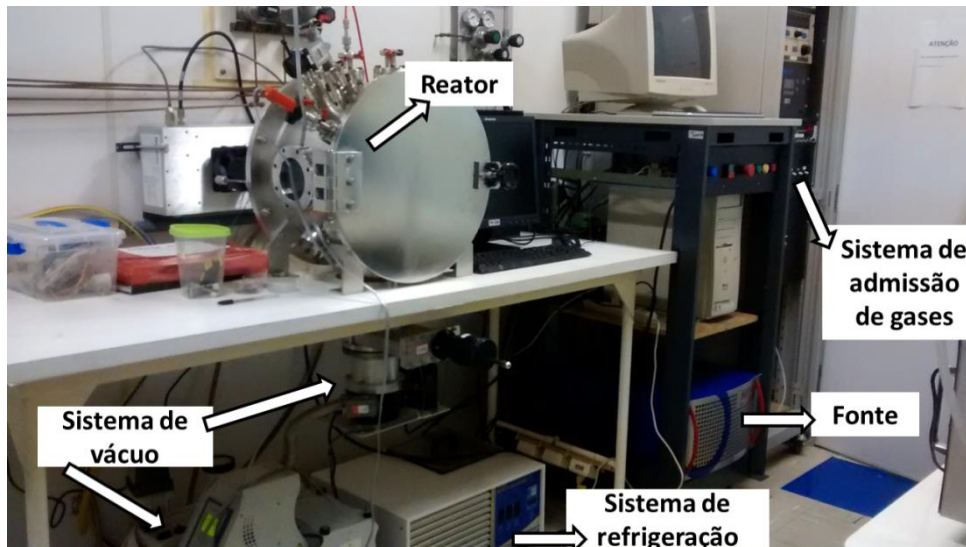
Os substratos a usados foram blocos da liga Ti-6Al-4V com dimensões 50x50x4mm. Todas as amostras foram submetidas aos seguintes procedimentos de preparação antes de serem recoberta pelo filme de DLC:

- a) As amostras foram lixadas manualmente com lixas d'água em politriz lixadeira metalográfica, com a seguinte sequência granulométrica 240, 400, 600, 1000 e 1200. Em seguida foram polidas com pano específico com abrasivo de pasta de diamante de 1µm;
- b) Após o polimento as amostras foram analisadas por microscopia ótica para avaliar a qualidade da superfície;
- c) Antes de deposição as amostras passaram por um procedimento de limpeza, no qual foi utilizado álcool etílico e gás nitrogênio para secá-las.

3.2 Deposição por sputtering

Os filmes de DLC e cromo foram depositados em um reator a plasma com catodos do tipo *magnetron*, conforme a figura 2, pertencente ao Laboratório de Plasmas e Processos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Figura 2 – Reator de plasma com catodo tipo magnetron.



Fonte: Autor.

As condições de deposição são indicadas nas tabelas 1 e 2, variando somente o tempo de deposição do DLC e do cromo. Utilizaram-se alvos de carbono (pureza 99,999%) e cromo (pureza 99.5%).

Tabela 1 – Condições de deposição dos filmes de DLC

Parâmetro	Valores
Pressão (mTorr)	1
Potência elétrica DC (W)	100

Tensão (V)	446
Corrente (A)	0,220
Distância alvo-substrato (mm)	155
Gás usado	argônio
Fluxo de gás	19,8 sccm

Fonte: Autor.

Foram efetuadas 4 deposições, para verificar a melhor condição de deposição do filme de DLC.

Tabela 2 – Tempos de deposição dos filmes

Amostras	Tempo de deposição do Cromo (min)	Tempo de deposição de DLC (min)
DLC-60	0	60
DLC-60-Cr	2	60
DLC-80-Cr	2	80
DLC-100-Cr	2	100

Fonte: Autor.

3.3 Caracterização dos filmes obtidos

3.3.1 Microscopia óptica

A microscopia óptica foi utilizada para a obtenção de imagens da superfície das amostras. O microscópio óptico utilizado foi o BX60M, da fabricante Olympus, pertencente à Universidade Presbiteriana Mackenzie.

3.3.2 Espectroscopia por dispersão de energia (EDS)

A espectroscopia por dispersão de energia (EDS) foi utilizada para a detectar os elementos presentes nas amostras. O equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura, JSM-6510, da empresa JEOL, pertencente à Universidade Presbiteriana Mackenzie.

3.3.3 Espectroscopia Raman

A espectroscopia Raman foi utilizada para conhecer a estrutura do filme. O equipamento utilizado foi o espectrômetro confocal Raman, WITec, Alpha 300R, com linhas laser em 488nm, 532nm e 633nm, pertencente à Universidade Presbiteriana Mackenzie.

3.3.4 Indentador de Rockwell C

O objetivo do ensaio de dureza Rockwell C foi analisar a adesão do filme fino ao substrato e classificar, de acordo a norma VDI 3198, como admissível, caso apresente boa adesão entre o filme e substrato, ou recusado, caso demonstrado falta de adesão entre o filme e substrato. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Processamento e Caracterização

de Materiais (LPCM) da FATEC-SP, sendo usado um durômetro de bancada de dureza Rockwell modelo 400.001 da empresa Digimess, e foi utilizado um microscópio metalográfico invertido da Zeiss para a aquisição das imagens.

3.3.5 Perfilometria

O objetivo do ensaio de perfilometria foi determinar a espessura dos filmes de carbono tipo diamante obtidos. Os ensaios foram realizados no equipamento P7, da fabricante KLA Tencor, pertencente ao Laboratório de Plasmas e Processos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta os valores das espessuras dos filmes indicados na tabela 2. Os dados foram coletados da seguinte forma, foram feitas 5 medições em diferentes pontos nas amostras e repetiu-se 3 vezes as medições. A tabela 4 apresenta as médias das medições e seus desvios padrões.

Ao analisar os resultados, é possível notar que aumentou a espessura do filme, conforme houve o acréscimo de tempo de deposição, sendo a amostra 4 de maior espessura. Esse resultado está de acordo com o previsto, pois com o aumento do tempo de deposição do DLC, há um aumento no número de átomos de carbono que atinge a superfície do substrato.

Tabela 3 - Medidas da espessura do filme nas amostras (valores em ângström).

DLC-60	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
M1 (Å)	288,1	424,6	426,2	292,9	353,9
M2 (Å)	243,6	268,7	267,8	253,5	248,9
M3 (Å)	249,2	230,8	251,8	303,6	311,0
DLC-60-Cr	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
M1 (Å)	442,8	411	354,7	418,7	353,6
M2 (Å)	315,5	320,2	343,5	339,5	318
M3 (Å)	550,9	550,4	560,1	524,3	514,7
DLC-80-Cr	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
M1 (Å)	351,8	358	393,8	434,1	435,6
M2 (Å)	372,6	448,2	493,9	509,8	394,8
M3 (Å)	410,8	544,7	569,3	637,7	491,9
DLC-100-Cr	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
M1 (Å)	376,4	497,3	602,2	631,2	647,6

M2 (Å)	528,1	564,6	549,2	521,4	426,2
M3 (Å)	494,3	552,9	594,8	628,6	642,0

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Médias das medições das espessuras dos filmes.

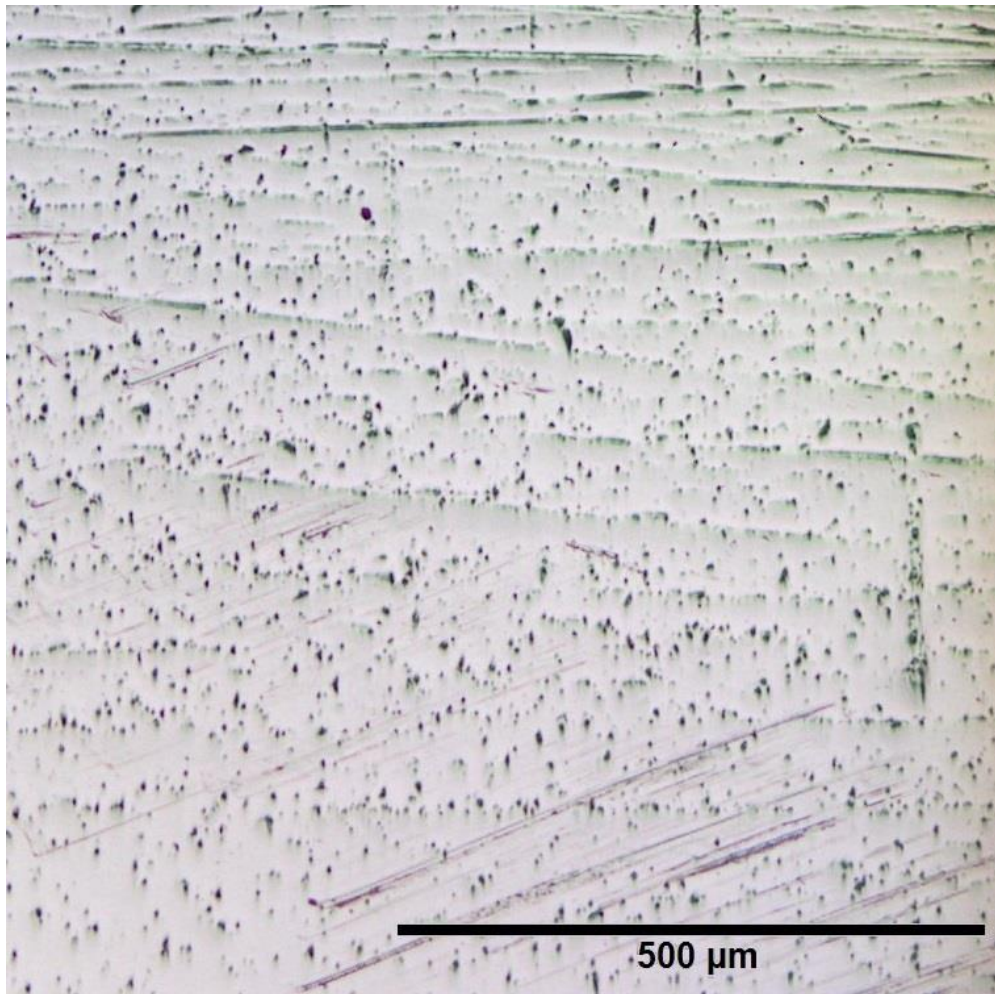
Amostra	Média (nm)	Desvio Padrão (nm)
DLC-60	29	6
DLC-60-Cr	42	9
DLC-80-Cr	45	8
DLC-100-Cr	55	8

Fonte: Autor.

As figuras 3 ao 7 apresentam imagens da microscopia óptica, demonstrando a diferença entre as superfícies do substrato (figura 3) e as amostras que haviam filmes finos de DLC sobre o substrato (figura 4 ao 7).

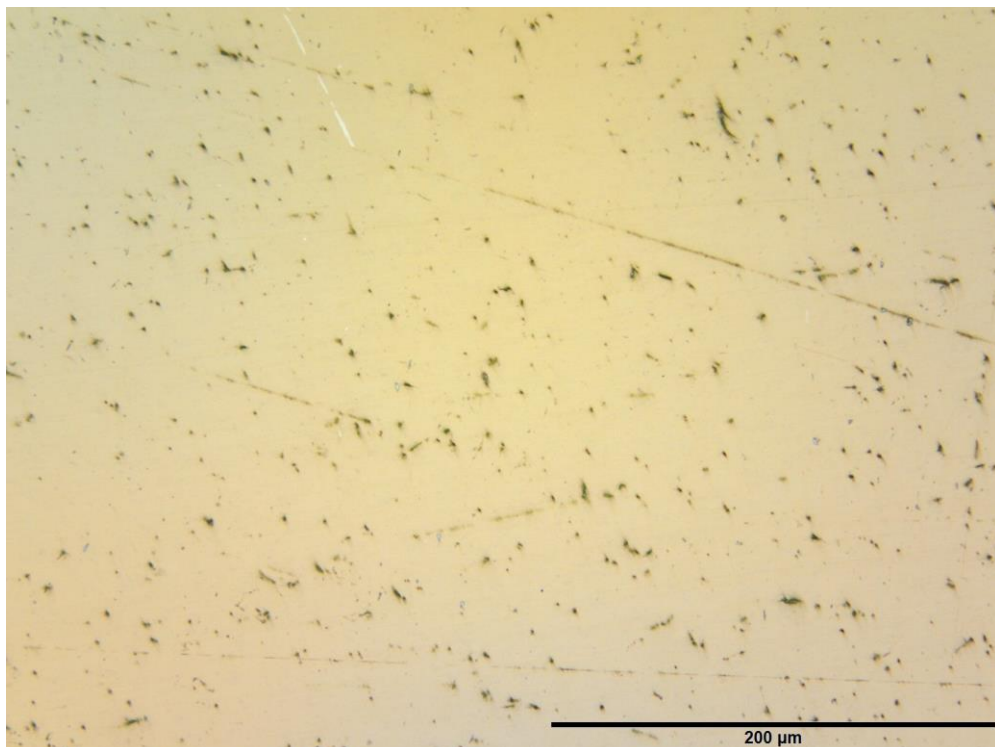
É possível notar que as amostras estão muito riscadas, porém a amostra DLC-60-Cr foi a apresentou menor quantidade de defeitos em sua superfície.

Figura 3 – Microscopia óptica da superfície do substrato sem os filmes.



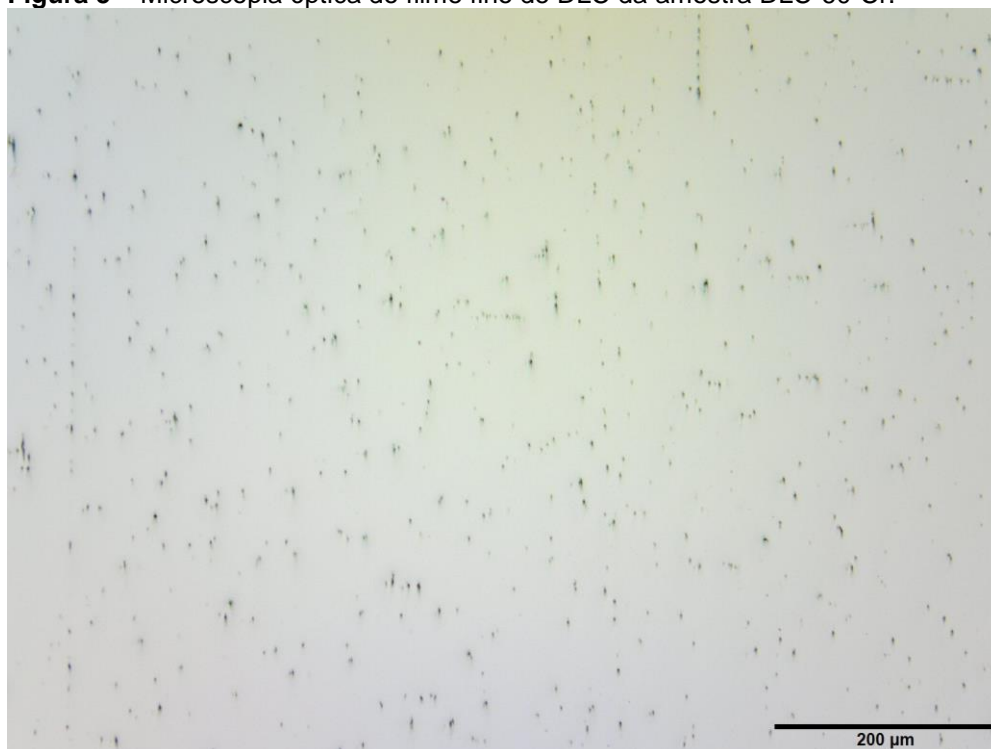
Fonte: Autor.

Figura 4 – Microscopia óptica do filme fino de DLC da amostra DLC-60.



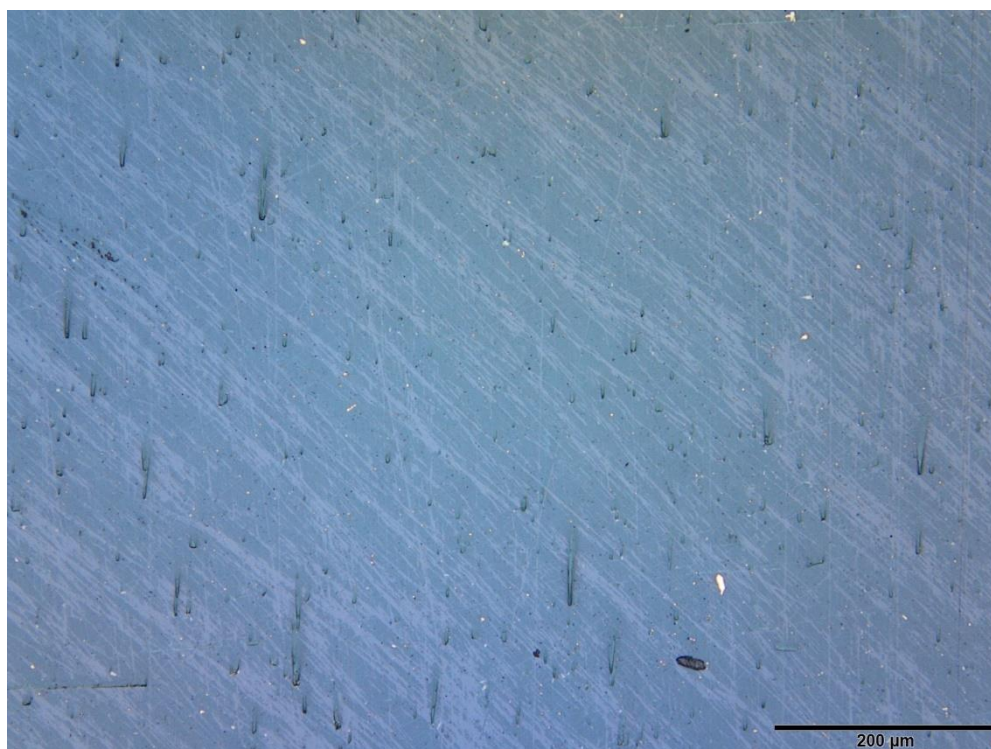
Fonte: Autor.

Figura 5 – Microscopia óptica do filme fino de DLC da amostra DLC-60-Cr.

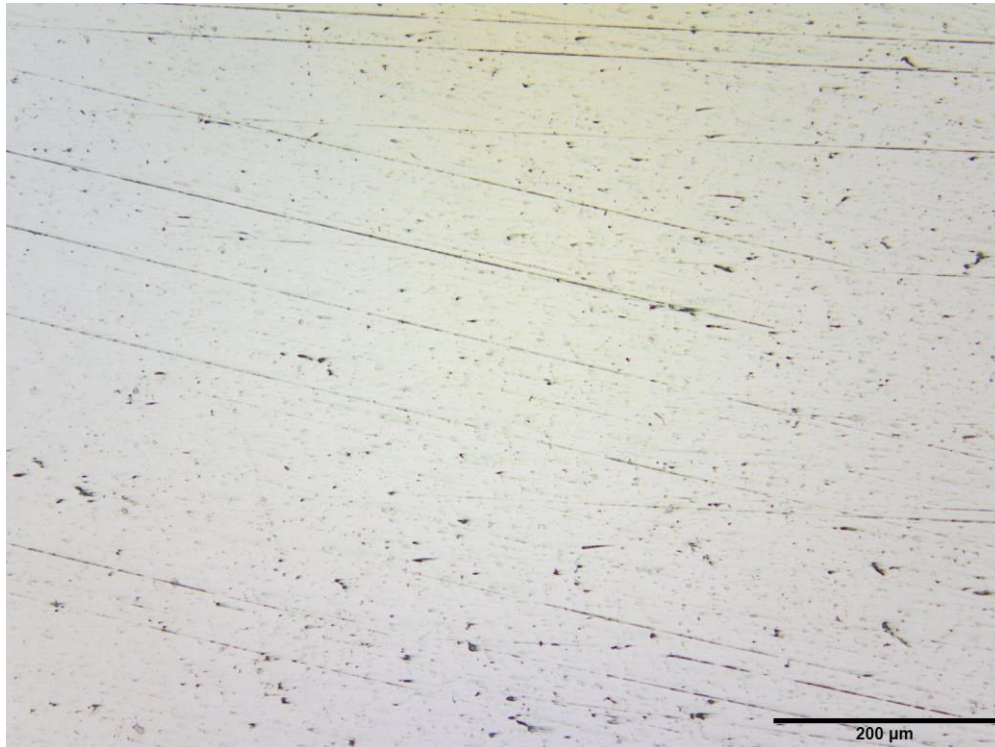


Fonte: Autor.

Figura 6 – Microscopia óptica do filme fino de DLC da amostra DLC-80-Cr.



Fonte: Autor.

Figura 7 – Microscopia óptica do filme fino de DLC da amostra DLC-100-Cr.

Fonte: Autor.

Com a espectroscopia de energia dispersiva (EDS) é possível observar a presença de titânio, alumínio, carbono e cromo nas amostras. Obviamente, na amostra 1 não foi detectado cromo, já que não houve deposição de cromo nessa amostra. Os outros elementos encontrados, como, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio são consequência das contaminações existente na atmosfera do reator de deposição. Demais elementos são oriundos de outras deposições feitas no reator. Abaixo está a tabela 5 com os dados obtidos pelo EDS.

Tabela 5 – Porcentagem de átomos de cada elemento em relação a cada amostra.

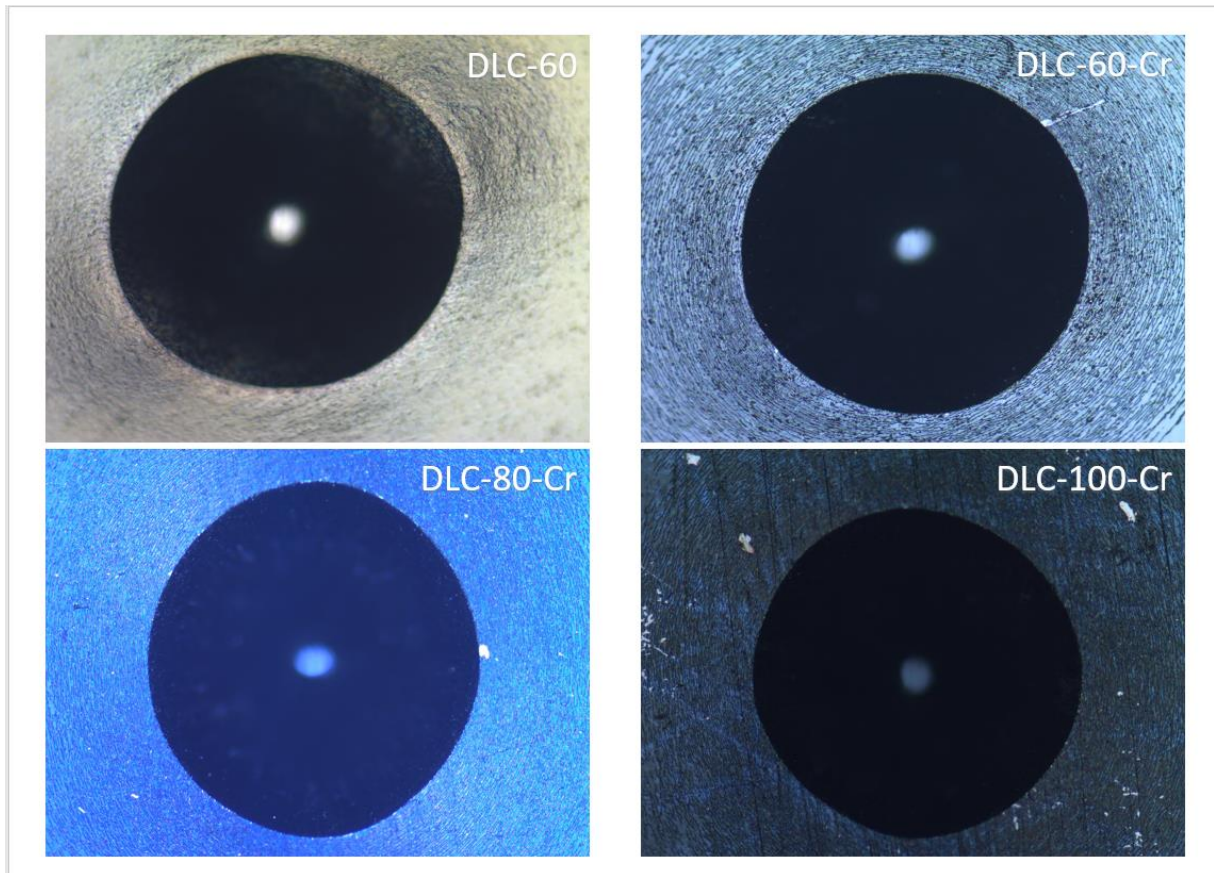
Atom %	DLC-60	DLC-60-Cr	DLC-80-Cr	DLC-100-Cr
C	20,9	19,1	22,0	16,2
N	0,0	26,6	0,0	27,0
O	0,0	21,0	0,0	18,2
Al	8,7	3,4	8,5	4,1
Ti	70,1	29,3	68,2	33,6
Cr	0,0	0,5	1,0	0,8
Si	0,1	0,0	0,2	0,0
Fe	0,2	0,05	0,2	0,0

Fonte: Autor.

Conforme mostrado na figura 8 é possível notar que não houve delaminação dos filmes, mas apenas microtrincas. E, segundo a norma VDI 3178, todas as amostras são classificadas como admissíveis e possuem boa adesão ao substrato.

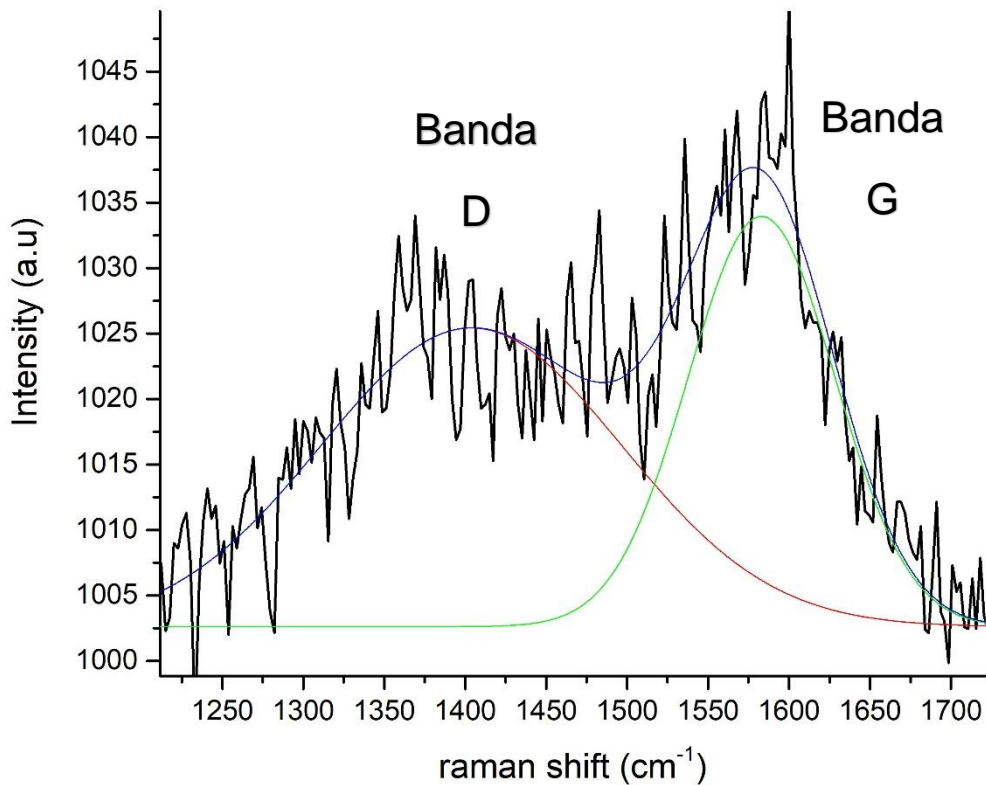
A amostra DLC-80-Cr foi a mais homogênea, apresentando um menor estresse, provavelmente, devido a menores valores de tensões internas.

Figura 8 – Microscopia do ensaio de adesão VDI das amostras.



Fonte: Autor.

Analisando a Raman foi verificado que os espectros possuem forma característica dos filmes de DLC. Para exemplificar, a figura 9 apresenta um desses espectros. A tabela 6 apresenta os valores de posição, largura a meia altura das bandas D e G, além da razão I_D/I_G .

Figura 9 – Espectro Raman da amostra DLC-60-Cr.

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Posição, largura a meia altura das bandas, razão I_D/I_G .

Banda	Posição (cm ⁻¹)	Largura a meia altura (cm ⁻¹)	Razão I_D/I_G
D	1403,9	218,7	1,49
G	1583,1	107,1	

Fonte: Autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos do EDS ratifica que a amostra DLC-60 não contém intercamada de cromo e as demais amostras possuem a intercamada de cromo, conforme o esperado.

Através do espectro Raman é possível afirmar que os filmes produzidos são carbono tipo diamante pois apresentam espectro característico deste material.

As amostras, sem e com intercamada de cromo, apresentaram boa adesão ao substrato, conforme o indentador de Rockwell apontou. Sendo que a amostra DLC-80-Cr apresentou o menor estresse. Isso demonstra uma menor quantidade de tensões internadas em relação as demais amostras.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. et al. **Os efeitos do alumínio e do vanádio na adesão osso-implante de ligas de titânio: estudo teórico.** COBEM. 1999.

BEZERRA, E. O. T. et al. Avaliação de não conformidades de próteses de quadril fabricadas com ligas de titânio e aço inox. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, e11782, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000100412&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 27 mar. 2018.

BHAT S. V. **Biomaterials** Narosa Publishing House, 2002.

BROWNE M., GREGSON P.J. Effect of mechanical surface pretreatment on metal ion release. **Biomaterials** v.21, n. 4, p. 385-392, 2000.

CEMIN, F., **Físico-química da adesão de filmes de dlc sobre aço aisi 4140 utilizando intercamadas contendo silício.** 2015. 108 p. Master's Dissertation – Universidade de Caxias do Sul – Caxia do Sul, 2015.

DEARNALEY G., ARPS J. H. Biomedical applications of diamond-like carbon (DLC) coatings: A review **Surface & Coatings Technology** v. 200, p. 2518 – 2524, 2005.

DONNET C., ERDEMIR A., **Tribology of Diamond-Like Carbon Films.** Springer Science + Business Media, LLC, 2008.

ELIAS C.N. et al. Biomedical Applications of Titanium and its Alloys **JOM** v. 60, p. 46-49, 2008.

ELINSON V. M., et al, Barrier properties of carbon films deposited on polymer-based devices in aggressive environments, **Diamond and Related Materials** v. 8 p. 2103–2109, 1999.

FERREIRA P. C. et al. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 151-157, fev. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692008000100023&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 mar. 2018.

KURODA P. A. B, et al. Análise da microestrutura e microdureza da liga ti-15zr-5mo para ser utilizada como um biomaterial COLAOB, 2012.

LEMES, S.S.S. **Avaliação da citotoxicidade dos extratos da corrosão de mini-implantes ortodônticos de Ti-6Al-4V após imersão em saliva artificial fluoretada por 30, 90 ou 180 dias.** [Dissertação]. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MORAIS, L. S. de. **Liberação de íons metálicos por mini-implantes ortodônticos de liga ti-6al-4v** [Tese] - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

MORAIS, L. S. de; GUIMARAES, G. S., ELIAS, Carlos Nelson. Liberação de íons por biomateriais metálicos. **Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial**, Maringa, v. 12, n. 6, p. 48-53, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-54192007000600006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 27 mar. 2018.

NETO, A. M. **Estudo do processo de deposição a plasma do carbeto de silício**

sobre a liga Ti-6Al-4V. [dissertação]. Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2014.

NIBENNANOUNE, Z. et al. Improving diamond coating on Ti6Al4V substrate using a diamond like carbon interlayer: Raman residual stress evaluation and AFM analyses **Diamond & Related Materials** v. 22, p. 105–112, 2012.

NOTHE, M. et al., **Investigation of the structure and properties of a-C:H coatings with metal and silicon containing interlayers.** Applied Surface Science, v. 179, p. 122-128, 2001.

OLSSON D. C., et al. Comportamento biológico de matriz scaffold acrescida de células progenitoras na reparação óssea. **Ciência Rural [en linea]**, v. 38 p. 2403 – 2412, 2008. acesso em 29/03/2018 disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33113633051>>.

PENG, X. L.; CLYNE, T. W., **Mechanical stability of DLC films on metallic substrates: Part I - Film structure and residual stress levels.** Thin Solid Films, v. 312, p. 207-218, 1998.

PENG, X. L.; CLYNE, T. W., **Mechanical stability of DLC films on metallic substrates: Part II - Interfacial toughness, debonding and blistering.** Thin Solid Films, v. 312, p. 219-227, 1998.

RAMIRES, I.; GUASTALDI, A. C. Estudo do biomaterial Ti-6Al-4V empregando-se técnicas eletroquímicas e XPS. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 10-14, fev. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 mar. 2018.

ROCHA MELLO G. M., CHAVES R. R., CARAM R. **Estudo das temperaturas de transformação de fases em ligas de titânio-alumínio e titânio-nióbio.** C.P. 6122, DEMA/FEM/UNICAMP, Campinas – SP CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2000.

ROY R. K., LEE K. R. Biomedical Applications of Diamond-Like Carbon Coatings: A Review **J. Biomed. Mater. Res.**, v 83B p. 72-84, 2007.

WEI, C.; CHEN, C. H., **The effect of thermal and plastic mismatch on stress distribution in diamond like carbon film under different interlayer/substrate system.** Diamond and Related Materials, v. 17, p. 1534-1540, 2008.

ZHANG C. Z., et al Study of diamond nucleation and growth on Ti6Al4V with tungsten interlayer **Surface and Coatings Technology** v. 25, Pages 248-254, 2013.

Contatos: guilhermesales95@gmail.com e marcos.massi@mackenzie.br