



Análise da biocompatibilidade de parafusos de fixação de próteses de fêmur em liga de titânio ASTM F136

Souza CMP§, Cioca VV†, Militão VA§, Silva Jr WC§

§*Instituto Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil.*

†*Universidade Federal do ABC, Santo André, Brasil.*

Resumo. A área de biomateriais passa por uma constante evolução, pois a cada ano que se passa novos biomateriais são desenvolvidos visando redução de custo, osseointegração, biocompatibilidade entre outros fatores. Neste trabalho tem por objetivo a realização da análise da composição química dos parafusos de fixação de prótese de fêmur, fabricados em liga de titânio ASTM 136. A utilização de ligas de titânio em aplicações ortopédicas, odontológicas e aeronáuticas tem aumentado nas últimas décadas. As propriedades características da liga ASTM 136 conferem boa resistência à corrosão aplicada em meios biológicos com alto grau de biocompatibilidade. Para realizar a análise dos elementos químicos que fazem parte da composição dos parafusos de fixação da prótese foram utilizados o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e a espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS). Com os ensaios finalizados, os resultados foram comparados com a norma ASTM F136. Os parafusos apresentaram uma grande quantidade de Carbono e Nitrogênio, deste modo, houve um aumento da dureza do parafuso realizando uma mudança no comportamento das propriedades plásticas, fazendo com que elas diminuíssem.

Palavras-chave. *Prótese ortopédica, parafuso de fixação de prótese de fêmur, Microscópio Eletrônico de Varredura, EDS.*

Abstract. The area of biomaterials goes through a constant evolution, because every year that passes new biomaterials are developed aiming at cost reduction, osseointegration, biocompatibility among other factors. This study was to analyze the chemical composition of femoral prosthesis fixation screws made of titanium alloy ASTM 136. The use of titanium alloys in orthopedic, dental and aeronautical applications has increased in recent decades. The characteristic properties of the ASTM 136 alloy impart good corrosion resistance applied in biological media with a high degree of biocompatibility. The Scanning Electron Microscope (SEM) and the energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used to perform the analysis of the chemical elements that are part of the fixation screws. With the tests completed, the results were compared with the ASTM F136 standard. The bolts presented a great amount of Carbon and Nitrogen, in this way, there was an increase of the hardness of the screw realizing a change

Keywords. *Prosthesis, femoral prosthesis fixation screw and Scanning Electron Microscopy.*

Introdução. Os crescentes avanços da medicina têm influenciado diretamente na expectativa de vida da população. A expectativa de vida no ano de 2013 era de 70 anos vai passar para 80 anos em 2041. Existe um aumento de doenças relacionadas a problemas ósseos e inflamatórios de articulação em pessoas com mais de 50 anos, para que essas pessoas possam ter suas funções reestabelecidas, necessitam passar por procedimentos cirúrgicos para a substituição do osso ou tecido danificado por um biomaterial.

Biomateriais são substâncias ou misturas, de origem sintética ou natural, utilizados em sistemas biológicos para restaurar funções comprometidas por processos degenerativos ou traumatismos, em forma de implantes, aparelhos ou sistemas (2).

Deste modo, a compreensão das propriedades dos materiais é essencial para que se direcione a aplicação do biomaterial, deve se levar em conta a compatibilidade física, mecânica e biológica. A aplicação do biomaterial é independente da área ser ortopédica, cardiovascular ou odontológica, qualquer material que seja inserido ao corpo humano deve possuir biocompatibilidade, sendo assim o material não pode provocar reações alérgicas ou imunológicas (3).

No Brasil, o mercado de biomateriais foi de 690 milhões de dólares em 2010, tendo-se a expectativa de que alcance 2 bilhões em 2017 (crescimento de 20%) (3). Em 2011 as cirurgias ortopédicas chegavam, no Brasil, a quase 300 mil por ano, de acordo com dados do Sistema Único de Saúde reportados no Portal Brasil (4).

A utilização do titânio na área de biomateriais vem desde a década de 60, o titânio constitui cerca de 0,63% de toda a crosta terrestre, sendo assim o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, se for considerado somente os metais o titânio é o quarto na lista ficando atrás apenas do alumínio, ferro e magnésio (5).

Segundo Paschoal (6), a aplicação do titânio é particularmente adequado para o trabalho em ambientes corrosivos ou para aplicações em que sejam fundamentais o seu baixo peso. Pois o titânio possui alta relação resistência-peso e propriedades não magnéticas (6).

O alto interesse na utilização do titânio pelos pesquisadores, deve se pelos fato de suas propriedades serem favoráveis, principalmente pela a sua biocompatibilidade e possuir alta resistência à corrosão, baixa densidade, alta resistência mecânica e alta ductilidade. O titânio possui metade da densidade de ligas de Ni-Cr e Co-Cr.

Materiais e métodos. Neste trabalho foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) EDS e ensaio de torção. Este equipamento fornece a informação rapidamente sobre a identificação dos elementos químicos de uma amostra e a sua morfologia (7). O microscópio eletrônico de varredura é habitualmente utilizado na biologia, química, odontologia, engenharia, geologia, metalurgia, física, e farmácia. Uma das qualidade do MEV é sua versatilidade para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. A resolução do MEV pode variar entre 2 a 5 nm nos instrumentos comerciais, os instrumentos utilizados para pesquisa avançada podem alcançar a resolução menor que 1nm, por esse motivo o microscópio eletrônico de varredura é amplamente utilizado. Outro fator positivo é a possibilidade da aparência tridimensional da imagem da amostra, resultado direto da grande profundidade de campo, o microscópio eletrônico de varredura permite a realização de análises com de pouca magnitude e grande profundidade de foco, o que contribui muito para a



análise, pois deste modo a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica.

O funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) consiste na utilização de um feixe de elétrons com pequeno diâmetro que explora a superfície da amostra, ponto após ponto, por diversas linhas sucessivas e transmite o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está sincronizada de forma perfeita com o feixe incidente. Um sistema de bobinas de deflexão, o feixe de elétrons é guiado de modo que realize a varredura a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem é gerado através da interação do feixe incidente com a superfície da amostra, deste modo o sinal recolhido pelo detector é utilizado modular o brilho do monitor, permitindo a observação.

O feixe é acelerado pela alta tensão gerado entre o filamento e o ânodo, a maioria dos microscópio eletrônico de varredura usa com fonte de elétrons um filamento de tungstênio aquecido, este filamento opera na faixa de tensões de aceleração de 1 a 50kV.

Após o gerar a alta tensão, o equipamento em seguida focaliza a amostra por uma série de três lentes eletromagnéticas com um spot menor que 4nm. A interação entre o feixe e a amostra produz elétrons e fótons que podem ser coletados por detectores adequados, após a detecção são convertidos em um sinal de vídeo.

Após o feixe primário incidir na amostra, os elétrons difundem e constitui um volume de interação cuja forma depende da tensão de aceleração e do número atômico da amostra, neste volume criado os elétrons e as ondas eletromagnéticas produzidas são utilizadas para realizar a formação da imagem ou para efetuar uma análise físico-química.

A detecção das partículas e/ou dos raios eletromagnéticos resultantes da interação do feixe eletrônico com a amostra deve retornar à superfície da amostra e deste modo atingem o detector. A profundidade máxima de detecção depende da energia com que estas partículas ou raios atingem o detector, ou pela captação do mesmo (8).

Neste trabalho foram analisados três tipos de parafusos de Titânio ASTM F136:

- Parafuso Esponjoso Ø6,5 mm x 45mm, rosca total;
- Parafuso Auto Rosqueante, Ø5,0 mm x 40mm, rosca total;
- Parafuso Cortical, Ø2,7 mm x 30m.

Para que fosse possível analisar as microestruturas dos parafusos, os parafusos foram submetidos ao ensaio de torção, os parafusos foram analisados na área de ruptura da cabeça com a área de ruptura do corpo.

Para que os parafusos fossem submetidos as análise, os mesmo foram serrados manualmente, para que o tamanho de seu corpo fosse semelhante a suas respectivas cabeças, para evitar instabilidades das peças as bases do corpo foram lixadas para dar uma melhor estabilidade.

Para evitar impurezas, os parafusos foram colocados para limpeza por ultrassom e posteriormente secos com ar quente deste modo evitando impurezas externas durante as análise.

Posteriormente, as amostras foram posicionadas como mostrado na figura 1, e fixados com uma fita de carbono, sendo posicionado na máquina, as amostra a serem analisadas serão reproduzidas a um ângulo de 90° no computador, com um aumento de até 10 000x.

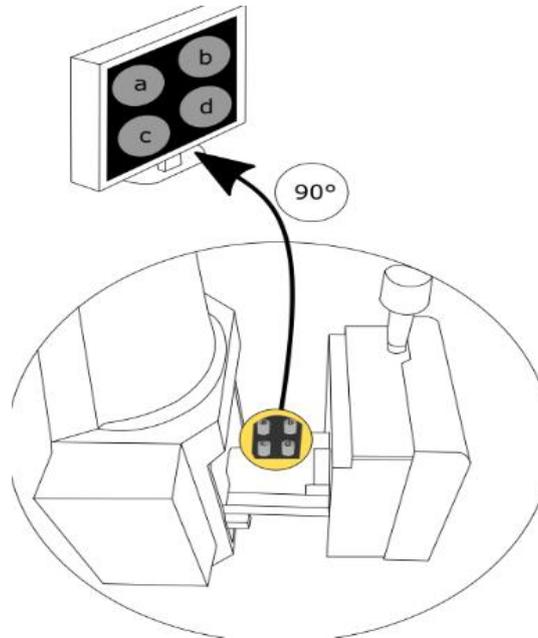


Figura 1. Esquema do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) mostrando o posicionamento das amostras em 90° .

Para esta análise do comportamento do parafuso durante o ensaio foram utilizados as funções de elétrons retroespalhados (análise de composição, BSE) e elétrons secundários (análise topográfica, SE).

O tecido ósseo é um composto natural complexo que consiste em colágeno de proteína macia e resistente, que tem uma densidade entre 1,6 e 1,7 g/cm³. O osso é um material anisotrópico com propriedades mecânicas que diferem nas direções longitudinal e transversal (9).

Resultados. Analisando a área de ruptura das amostras, é possível identificar diferentes texturas nas superfícies das amostras.

Para uma melhor compreensão, foi realizada uma análise de qualitativa da superfície, ou seja, foi realizado uma microanálise química por energia dispersiva (EDS), nesta análise foram selecionadas áreas de inclusões e áreas de diferentes texturas pontuais. Como mostra a Figura 2.

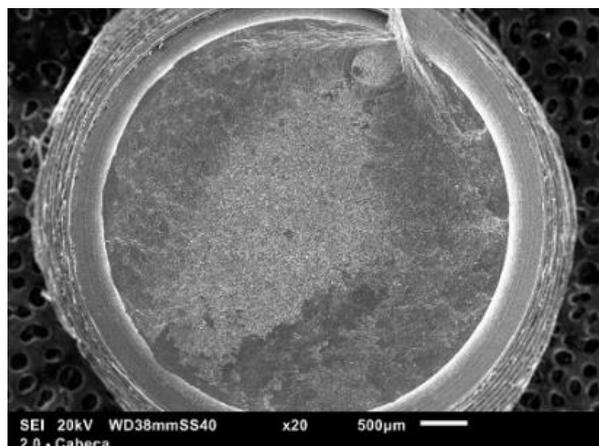


Figura 2 – Análise por elétrons secundários na superfície do parafuso auto-rosqueante, com um aumento de 20x.

Com os resultados obtidos, os mesmos foram comparados com a norma ASTM F136, os dados podem ser observado na tabela 1.

Tabela 1- Tabela de requisitos químico (Norma ASTM F 136)

Requisito químico (Norma ASTM F136)		
Elementos	Composição, % (mass/mass)	Tolerância a baixo do mínimo ou a cima do limite máx, % (mass/mass)
Nitrogênio(N)	0.05 máx.	0.02
Carbono(C)	0.08 máx	0.02
Hidrogênio(H)*	0.012 máx	0.002
Ferro(Fe)	0.25 máx	0.1
Oxigênio(O)	0.13 máx	0.02
Alumínio(Al)	5.5 a 6.5	0.4
Vanádio(V)	3.5 a 4.5	0.15
Titânio(Ti)	///	///

Observando, os resultados do EDS foi notado uma grande quantidade de inclusão metálicos dos elementos (Ca, V, Al, K, Mg, entre outros) e não metálicas (O, C, N, P, S e Cl) presentes principalmente nas extremidades da rosca. Na figura 3, é possível notar o acúmulo dos materiais nas extremidades das roscas, a imagem utiliza elétrons retroespalhados, os elementos que possuem menor número atômico como Oxigênio, Carbono, Fósforo entre outros são representados com uma tonalidade próximo ao preto, já os elementos com maior número atômico como o Ferro, Manganês, Molibdênio entre outros aparecem numa tonalidade mais próxima ao branco.

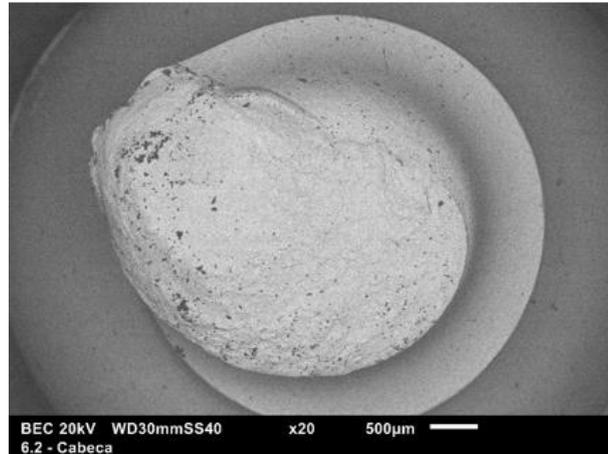


Figura 3 – Imagem obtida por meio da técnica de elétrons retroespalhados.

Com os resultados obtidos, foram submetidos à comparação com as normas, em nenhum dos três parafusos foram obtidos resultados compatíveis, como mostrado na Tabela 2. No resultados obtidos foi possível observar que em alguns pontos um aglomerado de elementos, porém em outros pontos, um valor bem abaixo do regulamentado na norma. A amostra 2.0 apresentou dois elementos que podem ter sido o fator resultante do ângulo de ruptura ser menor do que o mínimo necessários, esses elementos foram Carbono e Nitrogênio em grande quantidade aumentando assim a dureza do material, diminuindo o comportamento da propriedade plástica.

Tabela 2 - Tabela comparativa de composição química (Norma ASTM F136).

Dados Norma ASTM F136			Resultados Obtidos (média)			
Elementos	Composição(%)	Tolerância(%)	1.0	1.1	2.0	3.0
			Composição(%)			
Nitrogênio(N)	0.05 máx.	0.02	1.25	0.75	1.38	1.61
Carbono(C)	0.08 máx	0.02	-	-	9.14	-
Hidrogênio(H)*	0.012 máx	0.002	-	-	-	-
Ferro(Fe)	0.25 máx	0.1	-	-	0.47	0.36
Oxigênio(O)	0.13 máx	0.02	21.43	28.64	1.43	-
Alumínio(Al)	5.5 a 6.5	0.4	3.31	2.90	3.12	4.44
Vanádio(V)	3.5 a 4.5	0.15	4.31	4.68	5.04	4.98
Titânio(Ti)	///	///	79.31	82.50	89.06	88.62
Inclusões/Impurezas						
Potássio(K)			1.67	-	-	-
Sódio(Na)			2.03	-	-	-
Silício(Si)			0.62	-	-	-
Enxofre(S)			0.35	-	-	-
Cloro(Cl)			1.49	-	-	-
Cálcio(Ca)			4.04	3.55	-	-

Conclusão. Devido à apresentação em grande quantidade de Carbono e Nitrogênio no parafuso 2.0 houve um aumento da dureza do parafuso realizando uma mudança do comportamento das propriedades plásticas, fazendo com que elas diminuíssem. Nos demais,

foi notado que em alguns pontos existem um aglomerado de elementos, em outros pontos, existem um valor bem abaixo do mínimo exigido pela norma ASTM F136. O número elevado de carbono e do oxigênio podem ser responsáveis pela fragilidade mecânica do parafuso e da redução à resistência a corrosão.

Com base neste dados é possível notar uma falha durante a fabricação do material que acaba resultando numa grande quantidade de inclusões e má controle de qualidade do produto. Para se ter resultados mais conclusivos irá ser feito uma análise de inclusões e tamanho de grãos em superfície polida.

Divulgação. Os autores relatam não haver conflitos de interesse neste trabalho.

Referências

- (1) ASTM F136 – 13 Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminum-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401).
- (2) TURRER C. L., FERREIRA F. P. M. Biomateriais em Cirurgia Craniomaxilofacial: princípios básicos e aplicações - revisão de literatura. Rev. Bras. Cir. Plást. v3, p234- 239, 2007.
- (3) LANDUCI Michael. C. Caracterização das propriedades mecânicas de biomateriais metálicas. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Estadual de Bauru, Bauru,2016.
- (4) Portal Brasil - <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/09/cinco-estados-recebem-mutirao-de-cirurgiaortopedica>, acessada em 03/04/2018.
- (5) BENTO, Carlos Alberto da Silva. Estudo da interface Ti-6Al-4V/TiO₂ por microscopia electronica de varredura. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- (6) PASCHOAL, André Luís. Avaliação da Resistência à corrosão em meio fisiológico de metais revestidos com nitreto de titânio. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- (7) MALISKA, Ana Maria. Microscopia eletrônica de Varredura.
- (8) DEDAVID, Berenice Anina. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre, 2007.
- (9) CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. Materials Science and engineering: an introduction. New York: Wiley, 2012.