

ANÁLISE DA LIGA Ti-50%p.Nb-7%p.Mo PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

LUDMILA FERNANDA DA SILVA RIBEIRO¹, JOSÉ ROBERTO S. MARTINS JR²

¹ Discente do Curso Técnico em Eletrotécnica Integrado ao Ensino Médio, Bolsista PIBIC-EM, IFSP, Câmpus Avançado Tupã, ludmila.fernanda@aluno.ifsp.edu.br

² Professor EBTT na disciplina de Física, IFSP, Campus Avançado Tupã, jose.martins@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.13.00.00-6 Engenharia Biomédica

RESUMO: Na fabricação de próteses e dispositivos especiais nas áreas médica e odontológica, tem sido muito utilizado o titânio e suas ligas, desde 1970 devido às suas propriedades como baixos valores de módulo de Young, alta resistência à corrosão e características de biocompatibilidade. A liga Ti-6Al-4V é a liga de titânio mais utilizada para aplicações biológicas. Entretanto, recentemente, foi descoberto que o vanádio causa efeitos citotóxicos e reações adversas em alguns tecidos, enquanto o alumínio tem sido associado com desordens neurológicas. Ligas do sistema TiNbMo integram uma nova classe de ligas à base de Ti, sem a presença de Al e V (que apresentam citotoxicidade) e com baixos valores do módulo de Young (em torno de 100 GPa), pois possuem estrutura cristalina cúbica de corpo centrado, conhecida como fase beta, bastante atraentes para o emprego como biomateriais. A densidade volumétrica foi determinada de forma teórica com base na densidade de cada elemento químico bem como sua proporção em massa. O objetivo deste projeto é fazer o estudo da liga Ti-50%p.Nb-7%p.Mo e caracterizá-la quimicamente quantitativamente por meio da técnica de densidade.

PALAVRAS-CHAVE: titânio; biomaterial; densidade; nióbio; molibdênio.

ANALYSIS OF ALLOY Ti-50%wt.Nb-7%wt.Mo FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

ABSTRACT: In the manufacture of prostheses and special devices in the medical and dental areas, titanium and its alloys have been widely used since 1970 due to its properties such as low Young module values, high corrosion resistance and biocompatibility characteristics. The Ti-6Al-4V alloy is the most widely used titanium alloy for biological applications. However, it has recently been discovered that vanadium causes cytotoxic effects and adverse reactions in some tissues, while aluminum has been associated with neurological disorders. TiNbMo system alloys integrate a new class of Ti-based alloys, without the presence of Al and V (which present cytotoxicity) and with low values of the Young module (around 100 GPa), because they have a cubic crystalline structure of centered body, known as beta phase, quite attractive for use as biomaterials. The volumetric density was determined theoretically based on the density of each chemical element as well as its mass proportion. The objective of this project is to study the Ti-50 wt.Nb-7 wt.Mo alloy and characterize it chemically quantitatively by means of the density technique.

KEYWORDS: titanium; biomaterial; density; niobium; molybdenum.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da área de biomateriais tem levado em consideração a combinação adequada entre propriedades físicas próximas ao tecido humano substituído e a resposta tóxica mínima ao corpo estranho. Um dos materiais metálicos que apresenta essa ótima combinação é o titânio e algumas de suas ligas, sendo vastamente usados na fabricação de próteses e dispositivos especiais nas áreas médica e odontológica desde 1970. A utilização desse material é devido às suas propriedades como baixos valores de Módulo de Elasticidade (Módulo de Young), alta resistência à corrosão e características de biocompatibilidade (OREFICE, 2005; PARK, 2007).

Entretanto, os valores do Módulo de Young desses materiais ainda são cerca de 2-4 vezes superiores aos do osso humano. A liga Ti-6Al-4V é a liga de titânio mais utilizada para aplicações biológicas e sua formulação varia ligeiramente dependendo do padrão escolhido pelo fabricante (LEYENS, 2005). Quanto maior for o conteúdo de oxigênio, nitrogênio ou vanádio, maior será sua resistência. Assim, as ligas que são compostas por titânio, molibdênio e nióbio integram uma nova classe de ligas à base de titânio, sem a presença de alumínio e vanádio (que apresentam citotoxicidade) e que possuem baixos valores do módulo de Young (abaixo de 100 GPa) e com aumento da resistência corrosão e melhor resposta do tecido ósseo (MARTINS JR, 2014).

As ligas mais promissoras são as que apresentam Nb, Zr, Mo e Ta como elementos de liga, adicionados ao Ti. Ligas do sistema TiNbMo integram uma nova classe de ligas à base de Ti, sem a presença de Al e V (que apresentam citotoxicidade) e com baixos valores do módulo de Young (em torno de 100 GPa), pois possuem estrutura cristalina cúbica de corpo centrado, conhecida como fase beta, bastante atraentes para o emprego como biomateriais (MARTINS JR, 2017). Além disso, a adição de Nb melhora-se a resistência a corrosão e diminui o módulo de elasticidade, duas propriedades muito importantes na biomedicina. Além disso, na literatura não encontra-se reportado sobre efeitos danosos nas células humanas para o Ti, Mo e Nb (LEYENS, 2005; MARTINS JR, 2017).

Além disso, o Brasil possui cerca de 90% das reservas mundiais de nióbio, sendo responsável por cerca de 95% da produção mundial (BRASIL, 2019). Desta forma, do ponto de vista econômico e estratégico, é muito importante que se invista em pesquisa tanto na questão do processamento quanto do desenvolvimento de metais que contenham nióbio, já que o Brasil lidera a produção mundial desse metal. Não existe reportado na literatura até o momento um biomaterial com cerca de 50% em peso de Nb, assim a proposta é a produção de uma nova liga para uso biomédico. O objetivo deste trabalho é produzir e caracterizar a liga Ti-50%p.Nb-7%p.Mo, neste momento será apresentado o resultado sobre densidade volumétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

A liga Ti-50%p.Nb-7%p.Mo foi produzida por meio de fusão em um forno a arco com eletrodo de tungstênio não consumível, onde os metais precursores (Titânio, Molibdênio e Nióbio) foram fundidos em um cadinho de cobre refrigerados à água.

A densidade volumétrica ou massa específica é uma grandeza física que tem como unidade, a partir do Sistema Internacional (SI), kg/m³. No entanto, é muito comum encontrar a densidade representada, também, pela unidade g/cm³. Analisando a unidade, podemos afirmar que densidade é a relação entre massa e o espaço (volume). Vale ressaltar a forma no qual é representada a densidade teórica que, em ligas metálicas, é feita a partir do número (porcentagem da massa) que antecede o elemento multiplicado com a densidade do mesmo, por fim, é somado todos os materiais que compõe a liga, conforme a equação (1).

$$D_{\text{teórica}} = D_1 \times \% m_1 + D_2 \times \% m_2 + D_3 \times \% m_3 \quad (1)$$

Onde: ,

$D_{\text{teórica}}$ – Densidade teórica

D_1 – Densidade do elemento químico 1

- D_2 – Densidade do elemento químico 2
 D_3 – Densidade do elemento químico 3
 $\%m_1$ – Porcentagem da massa do elemento químico 1
 $\%m_2$ – Porcentagem da massa do elemento químico 2
 $\%m_3$ – Porcentagem da massa do elemento químico 3

Na TABELA 1 é apresentando a densidade dos elementos precursores da liga e o valor da densidade teórica da liga Ti-50%p.Nb-7%p.Mo utilizando a equação (1). Na TABELA 2 o valor da densidade teórica das ligas também foi utilizado a equação (1). Já a densidade experimental, TABELA 2, foi obtida utilizando o Princípio de Arquimedes. O qual relaciona o empuxo exercido em um corpo imerso em algum fluido. Este empuxo é uma força vertical oposta a força peso, sendo proporcional ao volume imerso (KELLER, 1999).

TABELA 1 – Densidade dos elementos precursores e da liga produzida.

Elemento	Densidade (g.cm^{-3})
Titânio (LIDE, 2004)	4,51
Nióbio (LIDE, 2004)	8,57
Molibdênio (LIDE, 2004)	10,23
Ti-50%p.Nb-7%p.Mo	$D_{\text{teórica}} = 4,51 \text{ g.cm}^{-3} \times 0,43 + 8,57 \text{ g.cm}^{-3} \times 0,50 + 10,23 \text{ g.cm}^{-3} \times 0,07 = 6,12 \text{ g.cm}^{-3}$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 2 abaixo, pode-se encontrar a liga estudada, juntamente com outras dez ligas comerciais de titânio. É possível notar que, em geral, as ligas calculadas a partir da equação 1 e da densidade dos elementos químicos (LIDE, 2004), presentes na coluna “Densidade Teórica”, apresentam uma densidade maior do que as densidades que foram obtidas de forma experimental, presentes na coluna “Densidade Experimental”. Isso pode ocorrer, pois as ligas comerciais apresentam uma tolerância em sua composição química em relação à composição nominal, podendo, muitas vezes, existir pequenas diferenças entre os valores (GERHARD,1993; MARTINS JR,2014).

TABELA 2 – Densidade de biomateriais metálicos

Ligas de Titânio*	Densidade Teórica (g/cm^3)	Densidade Experimental (g/cm^3)
Ti-50%p.Nb-7Mo	6,12	-
Ti-7%p.Al-4%p.Mo	4,61	4,48
Ti-6%p.Al-6%p.V-2%p.Sn	4,55	4,54
Ti-8%p.Al-1%p.Mo-1%p.V	4,43	4,37
Ti-6%p.Al-2%p.Nb-1%pTa-0,8%p.Mo	4,64	4,48
Ti-5%p.Al-2,5%p.Sn	4,48	4,48
Ti-3%p.Al-2,5%p.V	4,49	4,48
Ti-15%p.Mo-5%p.Zr-3%p.Al	5,06	5,06
Ti-11,5%p.V-2%p.Al-2%pSn-1%p.Zr	4,81	4,81
Ti-12%p.V-2,5%p.Al-2%p.Sn-2%p.Zr	4,73	4,73
Aço 316 L	-	7,99

A Ti-50%p.Nb-7%p.Mo, apresenta uma densidade teórica de $6,12 \text{ g/cm}^3$ e sua densidade experimental será determinada futuramente após o período da pandemia de COVID-19. A densidade da liga Ti-50%p.Nb-7%p.Mo é cerca de 25% maior que as outras ligas comerciais comparadas, porém, 30 % menor que a do aço 316 L. Uma densidade menor significa projetar uma prótese com menor massa, quando, comparada a uma prótese de mesmas dimensões, se comparado a um material mais denso. Desta forma, sendo uma prótese mais confortável para o paciente, visto que produzirá menor esforço mecânico na região do implante (PARK, 2007).

Além disso, podemos perceber que a liga em questão não apresenta alumínio, diferente de todas as que foram comparadas, e não apresenta vanádio. Isso é importante, pois, como dito anteriormente, o vanádio pode causar efeitos citotóxicos no corpo humano e o alumínio é associado a algumas desordens neurológicas (OREFICE, 2005).

CONCLUSÕES

Foi produzida uma nova liga de titânio (composição química inédita), sem os elementos alumínio e vanádio. Além disso, possui uma densidade cerca de 30% menor que a do aço 316 L, que é um material já utilizado na ortopedia no BRASIL.

Assim, os resultados obtidos até o momento mostram que essa liga é uma promissora candidata a biomaterial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de São Paulo, Campus Avançado de Tupã, a UNESP, Campus de Bauru e as agências de fomento: FAPESP e CAPES. Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, A. N. D. M. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas. ENERGIA, M. D. M. E. Brasília (BRASIL) 2019.
- GERHARD, W., BOYER, R., COLLINGS, E. W., Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, 1993.
- KELLER, FREDERICK J., GETTYS, W. EDWARD, SKOVE, MALCOLM J, Física volume 1 - São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1999.
- LEYENS, C., PETERS, M. Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications. New York (USA): Wiley-VCH, 2005.
- LIDE, D. R. CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data. 85 ed., p. 2712, CRC Press, 2004.
- MARTINS JR, J.R.S. Effect of heat treatments on mechanical and electrochemical properties and cytotoxicity of Ti-15Mo-XNb system alloys. 2014. 167p. Thesis (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais). UNESP, Bauru, 2014.
- MARTINS JÚNIOR, J. R. S.; MATOS, A. A. ; OLIVEIRA, R. C. ; BUZALAF, M. A. R. ; COSTA, I. ; ROCHA, L. A. ; GRANDINI, C. R. . Preparation and characterization of alloys of the Ti-15Mo-Nb system for biomedical applications. Journal of Biomedical Materials Research part b-applied biomaterial v. 106, p. 639-648, 2017.
- OREFICE, R.L. PEREIRA, M.M.; MANSUR, H.S. Biomateriais: Fundamentos Aplicações, 1 Ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2005.
- PARK, J.B., LAKES, R.S. Biomaterials. An Introduction. 3 Ed., New York: Plenum Press, 2007.