

ANÁLISE DA FRATURA DE HASTES INTRAMEDULARES TIBIAIS

Patrícia Ortega, Laboratório de Engenharia Biomecânica-UFSC, patricia.ortega.cubillos@posgrad.ufsc.br
Arthur Paiva Grimaldi Santos, Laboratório de Engenharia Biomecânica-UFSC, arthur.pgsantos@gmail.com
Carlos Rodrigo de Mello Roesler, Laboratório de Engenharia Biomecânica-UFSC, r.roesler@ufsc.br

Resumo. Este trabalho apresenta a caracterização microestrutural e a análise das fraturas de hastes intramedulares tibiais sólidas e canuladas, fabricadas em Liga de Titânio Ti-6Al-4V, submetidas a ensaios laboratoriais de fadiga de alto ciclo sob flexão 4 pontos. Para a caracterização das hastes foram feitas metalografia, dureza Vickers e composição química. Para a análise da fratura foram estudadas as macro e micrografias da região da fratura utilizando o microscópio eletrônico de varredura. Os resultados obtidos indicam que o material de ambas as hastes está dentro das especificações normativas para as ligas de titânio usadas na fabricação de implantes médicos. Este trabalho também permite concluir que mesmo as hastes tendo regiões transversais diferentes os mecanismos e micromecanismos da fratura são semelhantes, apresentando características simultâneas de fratura dúctil e fadiga.

Palavras chave: Fratura, fadiga, haste intramedular, Ligas de Titânio.

1. INTRODUÇÃO

Implantes ortopédicos de osteossíntese apresentam a funcionalidade biomecânica de promover suporte compartilhado das cargas impostas ao osso hospedeiro durante a consolidação óssea (*bone healing*). Aspectos de biocompatibilidade e resistência mecânica, são indispensáveis para garantir a segurança e a eficácia desta classe de implantes médicos. Portanto, o material destes dispositivos deve ser cuidadosamente escolhido (Okazaki, 2012).

O titânio é um material bioinerte, que apresenta propriedades consolidadas para a aplicação ortopédica, dentre elas estão: alta resistência específica, boa rigidez específica, tenacidade à fratura razoável e boa resistência à corrosão (Srivatsan *et al.* 2010). No entanto, um bom entendimento dos fenômenos ocorrentes no material, quando solicitado mecanicamente, e dos esforços mecânicos envolvidos são de vital importância para garantir a funcionalidade do dispositivo.

O fenômeno da fadiga é tido como uma importante causa de falhas em implantes ortopédicos (Okazaki, 2012). No caso de hastes intramedulares tibiais, utilizadas para o reparo de fraturas da tíbia humana, esforços cíclicos de compressão, flexão e torção deverão ser suportados.

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos na observação da fratura oriunda de ensaios de fadiga feitos em hastes intramedulares bloqueadas sólidas e canuladas fabricadas em Liga de Titânio Ti-6Al-4V recozida (ASTM F136-13) e anodizadas (tratamento superficial) (Bansal *et al.* 2011; Minagar *et al.* 2012; Vermesse *et al.* 2013; Zhecheva *et al.* 2005).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Hastes intramedulares tibiais sólidas (seção transversal maciça) e hastes canuladas (tubo vazado) foram estudadas.

Inicialmente, nas hastes foi realizada uma análise dimensional. Nela foi possível observar diferenças quanto ao diâmetro e ao comprimento das hastes. As dimensões das hastes estudadas foram: Haste canulada, 9 mm de diâmetro externo, 4 mm de diâmetro interno e 420 mm de comprimento (Fig. (1.a)); haste sólida, 8 mm de diâmetro e 405 mm de comprimento (Fig. (1.b)).

Posteriormente, os dois tipos de hastes intramedulares tibiais (sólidas e canuladas) foram submetidas a um ensaio de fadiga, sob flexão 4 pontos, com carregamento senoidal e frequência de 5 Hz utilizando uma razão de tensões R de 0,1 predefinida pela norma ASTM F1264-3 (2012) (Fig.(2)). O ensaio foi realizado em uma máquina servo-hidráulica da marca BRASVÁLVULAS modelo BME 2000 160/AT. O número de ciclos foi contabilizado para cada carregamento até a falha catastrófica.

Após o ensaio, com as hastes fraturadas, foi realizada a análise química por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) no microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca JEOL e modelo JSM-6390LV.

Para a análise metalográfica, as hastes foram seccionadas e preparadas segundo norma ASTM E3-11, atacadas com o reagente Kroll e observadas no microscópio óptico NIKON ECLIPSE LV100D-U.

Para a caracterização do material também foram realizados ensaios de microdureza Vickers usando uma carga de 19,6 N durante 15 segundos em um microdurômetro da marca Shimadzu.

Finalmente no Microscópio Eletrônico de Varredura foram feitas as análises macro e micrográficas das fraturas, precedidas da inspeção visual das superfícies fraturadas.

3. RESULTADOS

A inspeção visual permitiu observar que a fratura de ambas as hastes ocorreu na região central dos pontos superiores de aplicação de carga. Não se identificaram estrições.

A análise macrográfica permitiu observar os locais de início da trinca, demonstrando que no final das fraturas existiram mudanças de direção das trincas devido à formação de diferentes planos de fratura associados às tensões trativas resistidas nestas regiões (Figs. (3) e (4)). Ambas as fraturas apresentam segregações. A análise da composição química via EDS permitiu identificar estas segregações como sendo carbonetos e/ou impurezas.



Figura 1. Detalhe das hastes tibiais fraturadas após ensaio de fadiga, a. canulada, b. sólida.

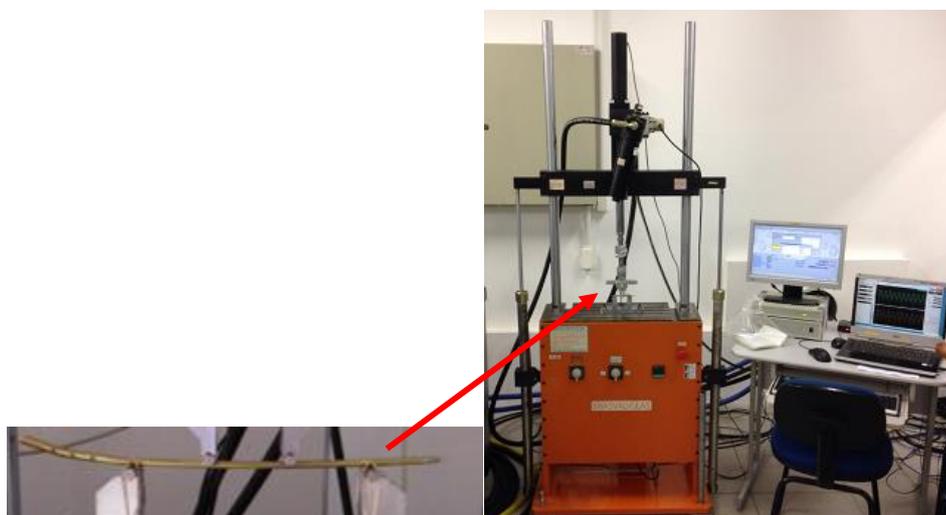


Figura 2. Detalhe do ensaio de fadiga sob flexão 4 pontos em hastes tibiais.

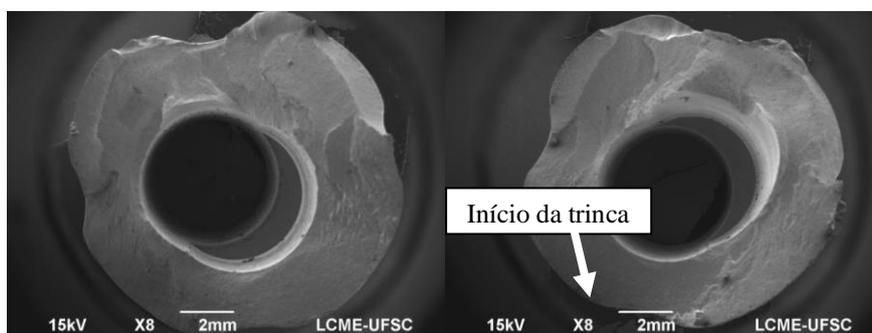


Figura 3. Detalhe da fratura da haste tibial canulada.

As Figuras (5) e (6) apresentam as micrografias da fratura das hastes. Nas micrografias feitas até 50x, foram observadas marcas de praia discretas, o que indica que a variação no carregamento é de pequena magnitude. Aumentos entre 450 e 700x permitiram identificar a presença de dimples, um micromecanismo típico de fratura dúctil (Chao *et al.* 2007), gerando zonas transgranulares. Em maiores aumentos é possível observar a presença de micro trincas nas regiões em que a haste foi submetida às tensões trativas, em decorrência da coalescência dos *dimples*. Também é possível observar estrias. Portanto, as macro e micrografias tanto das hastes maciças como das canuladas apresentam

mecanismos combinados de fraturas por fadiga e dúctil. Este fato evidencia que as solicitações aos quais são submetidas às hastes durante a ensaio são mais preponderantes que a geometria na fratura. Por outro lado, a tração a qual são submetidos estes componentes durante a flexão permite que a fratura apresente além de características de fadiga mecanismos da fratura dúctil.

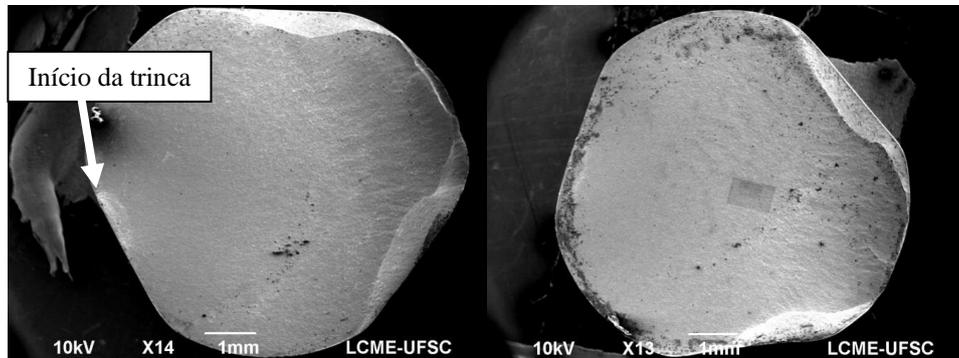


Figura 4. Detalhe da fratura da haste tibial sólida.

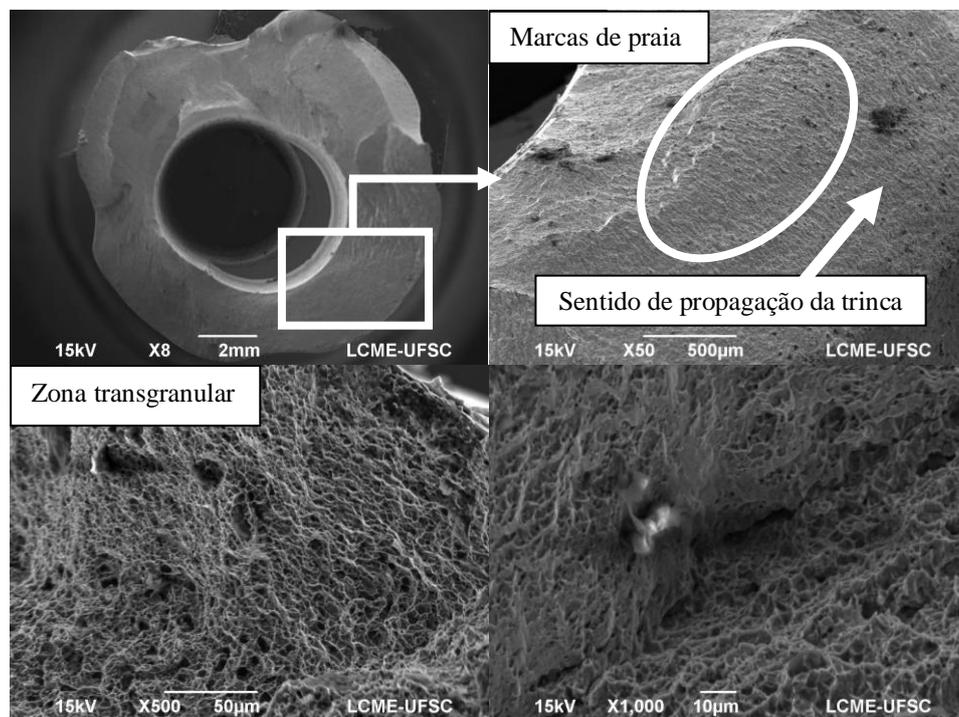


Figura 5. Microscopia da fratura da haste tibial canulada.

Para identificar a influência do material na fratura das hastes, foram realizadas análises metalográfica, de composição química e de dureza. Os resultados apontaram que a microestrutura de ambas as hastes, observadas na Fig.(7), é equiaxial ultrafina, composta de matriz alfa com glóbulos dispersos de fase beta. Não existem grandes colônias de fase alfa, atendendo à recomendação contida nas normas ASTM F136-13e ASTM F620-11. Este fator é de grande importância na resistência destas ligas, já que o tamanho dessas colônias influencia negativamente suas propriedades mecânicas. As amostras longitudinais mostraram um direcionamento da microestrutura, evidenciando que ambas as hastes foram fabricadas por conformação mecânica. As durezas das hastes vazadas e maciças são, respectivamente, 338 HV2 ±2 e 341,6 HV2 ±3, o que confirma a semelhança nas características microestruturais das hastes tibiais. Finalmente a composição química demonstrou concentrações de aproximadamente 6% de alumínio e 4% de vanádio, conforme especificados pela norma ASTM F136-13.

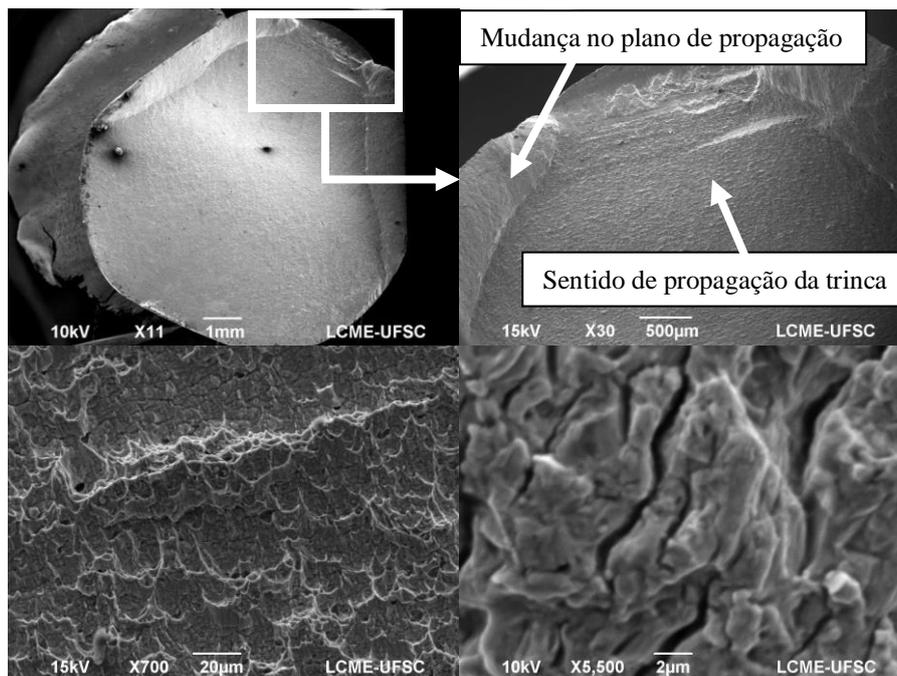


Figura 6. Microscopia da fratura da haste tibial sólida.



Figura 7. Microestrutura das hastes tibiais canulada e sólida, 500x de aumento, ataque Kroll por 15 s.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa permitiu estabelecer que as características e os mecanismos de falha das hastes tibiais canuladas e sólidas em fadiga sob flexão 4 pontos são similares. Predominando e acontecendo simultaneamente os micromecanismos de fadiga (marcas de praia, estrias) e de fratura dúctil (dimples, zonas transgranulares, microtrincas por coalescência de dimples).

As análises indicaram ainda que o material de ambas as hastes é similar e não apresenta nenhuma diferença em composição química, microestrutura ou dureza, portanto a fratura é dependente das tensões aplicadas no ensaio.

5. REFERÊNCIAS

- ASTM E3-11 “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”. West Conshohocken, PA, USA. 2014.
- ASTM F1264 – 3(2012) “Standard Specification and Test Methods for Intramedullary Fixation Devices”. West Conshohocken, PA, USA. 2012.
- ASTM F136-13 “Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminum-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications” (UNS R56401).
- ASTM F620-11 “Standard Specification for Titanium Alloy Forgings for Surgical Implants in the Alpha Plus Beta Condition”. West Conshohocken, PA, USA. 2014.
- Bansal, D.G., *et al.*, “Surface Engineering to Improve the Durability and Lubricity of Ti-6Al-4V Alloy”. *Wear*, Volume 271, Issues 9–10, 29 July 2011.
- Chao, J., *et al.*, “Failure Analysis of a Ti-6Al-4V Cementless Hip Prosthesis, *Engineering Failure Analysis*”, Volume 14, Issue 5, July 2007.
- Minagar, S., *et al.*, “A Review of the Application of Anodization for the Fabrication of Nanotubes on Metal Implant Surfaces, *Acta Biomaterialia*”, Volume 8, Issue 8, August 2012.
- Okazaky Y. Comparison of Fatigue Properties and Fatigue Crack Growth Rates of Various Implantable Metals. *Materials*. 2012.
- Srivatsan, T.S. *et al.* “A Study at Understanding the Mechanisms Governing the High Cycle Fatigue and Final Fracture Behavior of the Titanium Alloy: Ti-6Al-4V”, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 527, Issue 3, 15 January 2010.
- Vermesse, E., *et al.* “Surface Integrity after Pickling and Anodization of Ti-6Al-4V Titanium Alloy, *Applied Surface Science*”, Volume 285, Part B, 15 November 2013, Pages 629-637.
- Zhecheva, A. *et al.*, “Enhancing the Microstructure and Properties of Titanium Alloys through Nitriding and other Surface Engineering Methods, *Surface and Coatings Technology*”, Volume 200, Issue 7, 21 December 2005.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, a FINEP e ao LCME.

7. ABSTRACT

This study presents the analysis of tibial intramedullary nails, manufactured in titanium alloy Ti-6Al-4V, subjected to high-cyclic flexural fatigue testing under laboratorial conditions.

In order to successfully understand the fracture mechanisms involved, the material had been characterized alongside with chemical composition analysis and fracture’s macro and micrography analysis. The results obtained for the characterization and for the chemical composition were within the standard’s specification for medical implants. At last, the nail’s fractography showed some evidence of fatigue’s and ductile’s fracture mechanisms.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.