

ANÁLISE DE FALHA EM HASTE INTRAMEDULAR ¹

Cíntia Gabriely Zimmer²
Roberto Marques Strohaecker³
Telmo Roberto Strohaecker⁴

Resumo

A qualidade de componentes biomédicos depende da biocompatibilidade e biofuncionalidade dos materiais. Fatores que garantem essas características variam desde a microestrutura, composição química, projeto, fabricação entre outros. Através de uma metodologia de ensaios e análises adquire-se conhecimento para prevenir ou evitar cirurgias de revisão prematuras, aumentando a vida útil das próteses e evitando assim possíveis sofrimentos dos pacientes. Nesse estudo foram realizados ensaios de caracterização metalográfica, análise química e análise de fratura de um conjunto de haste intramedular explantada de um paciente devido à fratura do componente em uso, afim de caracterizá-los segundo a norma NBR ISO 5832-1 "Implantes para cirurgia - Materiais Metálicos". Corpos de prova foram extraídos das regiões de interesse e preparados segundo a norma NBR 13284 "Preparação de corpos de prova para análise metalográfica". A haste rompeu por fadiga, incentivada por marcas de usinagem no interior de um dos furos existentes na prótese. Na superfície de fratura da haste foram observadas microtrincas secundárias, repletas de produtos de oxidação, o que indica que o material sofreu processo de corrosão associado à sollicitação mecânica.

Palavras-chave: Haste intramedular; Análise de falha; Aço inoxidável.

FAILURE ANALYSIS IN INTRAMEDULLARY FIXATION DEVICES

Abstract

The medical devices quality depends of biofunctionality and biocompatibility. Factors that certify these characteristics can vary since microstructure, chemical composition, project, manufacture process, surgical technique among others. With an analysis methodology it is possible to prevent or avoid future failures, reducing pain of patients and increasing the prosthesis life. In this study, metallographic characterization and chemical analysis were performed in an explanted Intramedullary Fixation Device that fractured. Samples were extracted from the interest area and prepared according to standard proceedings for metallography and chemical analysis. The stem failed by fatigue, stimulated by machining marks in one hole existent in the stem. The fracture surface examination revealed cracks with oxidation, which indicates a process of corrosion associated with the mechanical sollicitation.

Key words: Intramedullary fixation devices; Failure analysys; Stainless steel.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Aluna de Graduação e Bolsista de Iniciação Científica - Lamef – UFRGS*

³ *Aluno de Pós-Graduação – PPGEM – UFRGS*

⁴ *Professor Doutor coordenador do Lamef – DEMET – UFRGS*

1 INTRODUÇÃO

A perda de um órgão ou de uma parte do corpo gera, além da perda da função, transtornos sociais e psicológicos ao paciente. Os avanços alcançados na medicina aliados à engenharia têm possibilitado o desenvolvimento de novas técnicas e materiais que geram uma melhor qualidade de vida à pessoa que sofreu algum dano. A disponibilização dessas técnicas tem oferecido novas opções aos pacientes mutilados, como a substituição total ou parcial de ossos fraturados por implantes.

O desenvolvimento da implantologia tem dado incentivo à pesquisa de biomateriais para esse fim. Dentre os vários biomateriais o aço inoxidável é o material mais utilizado para fabricação de próteses por ser um material que apresenta propriedades adequadas para biocompatibilidade e biofuncionalidade e com custo menor em relação aos outros, porém quando não fabricado sob normas rigorosas apresenta problemas sérios ao paciente.

1.1 Objetivo

Analisar as possíveis causas que levaram uma prótese ao colapso, caracterizando metalograficamente o material de acordo com a norma NBR ISO 5832-1 “Implantes para cirurgia - Materiais Metálicos”.

1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Biomateriais

Os biomateriais são utilizados em dispositivos médicos, para substituição temporária ou permanentemente implantada no corpo humano. Quanto ao tipo de material, os biomateriais podem ser: polímeros sintéticos, metais, cerâmicas ou macromoléculas naturais (ex.: biopolímeros)⁶.

Os biomateriais não devem produzir qualquer resposta biológica adversa local ou sistêmica, ou seja: o material deve ser não-tóxico, não-carcinogênico, não-antigênico e não-mutagênico. Devem apresentar resistência à fadiga, módulo de (elasticidade, torção ou flexão), bioestabilidade e bioatividade⁶.

1.2.2 – Aço Inoxidável

Um grande número de metais e ligas tem provado ser satisfatório como material para implante. Esses materiais são resistentes à corrosão, são biocompatíveis e apresentam resistência à fadiga, já que esses materiais são sujeitos a carregamentos cíclicos. O aço inoxidável pode ser considerado um biomaterial, pois ele possui todas essas propriedades e ainda demonstra boa ductilidade, baixo custo efetivo, além de ser de fácil fabricação⁷.

1.2.3 - Microestrutura

Implantes de aço inoxidável devem conter uma única fase de microestrutura austenítica². As normas para implantes especificam que a microestrutura não deve conter ferrita delta quando examinada com 100 x de ampliação e inclusões com tolerância restringida². Ferrita delta é uma fase secundária inaceitável em implantes de aço inoxidável por causa da menor resistência à corrosão quando comparada a matriz austenítica. Além disso, ferrita delta é ferro-magnética e aumenta a permeabilidade magnética do aço inoxidável⁵.

A presença de ferrita delta, de uma maneira geral, nos aços inoxidáveis, está associada a menores valores de tenacidade, apesar da ferrita ser dúctil e tenaz, ela quase não dissolve carbono em sua matriz e durante um resfriamento mais lento pode formar precipitados em seu contorno, sendo esta na verdade, a principal razão que leva a diminuir a tenacidade do material⁵.

Implantes com formato de barra, arame, chapa e tira devem ter um tamanho de grão 5 ou mais fino². Um grão fino é desejável para oferecer uma boa combinação de propriedades de tensão e fadiga.

1.2.4 - Biocompatibilidade

Biocompatibilidade se refere à compatibilidade entre um determinado material e o meio biológico no qual ele deve permanecer. Como a biocompatibilidade depende das interações entre o implante e os tecidos adjacentes e vários fatores que podem variar de um indivíduo para o outro e mesmo, de uma região para outra do corpo de um mesmo indivíduo, pode-se perceber que não se pode afirmar, de uma maneira genérica, que um determinado material é biocompatível⁷.

A biocompatibilidade de um material para implante é considerada ótima quando ela promove a formação de tecido normal na sua superfície e quando estabelece com o meio biológico adjacente uma interface contígua capaz de suportar as cargas normais ao local do implante⁷.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os componentes em estudo tratam-se de uma haste intramedular e um parafuso. O aço utilizado na fabricação dos componentes se enquadra na faixa de composição de um aço inoxidável austenítico AISI 316L.

Para verificar os motivos que levaram a haste intramedular e o parafuso ao colapso, foram realizadas análises visuais das fraturas em lupa de baixo aumento, análises em microscópio eletrônico de varredura, análise química e também análises microestruturais.

5 – RESULTADOS

5.1 – IDENTIFICAÇÃO DO COMPONENTE

A figura 1 mostra os dois componentes fraturados respectivamente da esquerda para direita a haste intramedular e o parafuso.

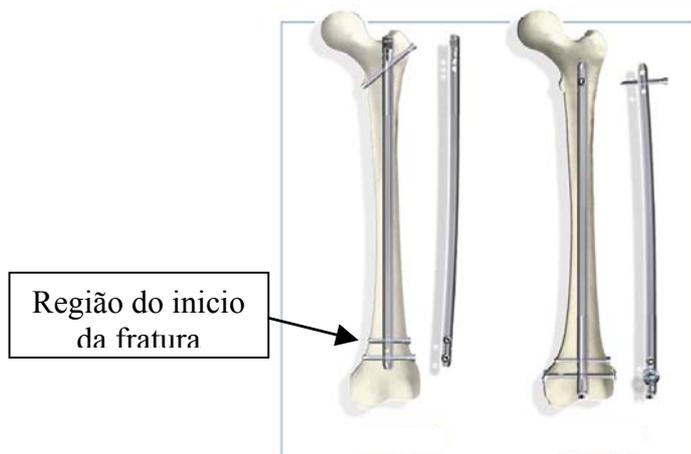


Fonte: Câmera fotográfica digital

Figura 1: Conjunto de prótese intramedular fraturado.

5.2 - ANÁLISE DO COMPONENTE

A haste femoral é fixada ao osso através do orifício intramedular e travada por parafusos oblíquos e perpendiculares. A figura 2 mostra através de um desenho esquemático um conjunto de prótese intramedular. Devido às atividades diárias, o fêmur sofre esforços repetitivos de flexão e torção o que pode causar fadiga dos componentes metálicos em regiões de concentração de tensões ou quando a resistência do componente é insuficiente. No caso da fratura em estudo, a região de ruptura iniciou em um dos furos distais, conforme indicado na figura 2.



Fonte: internet

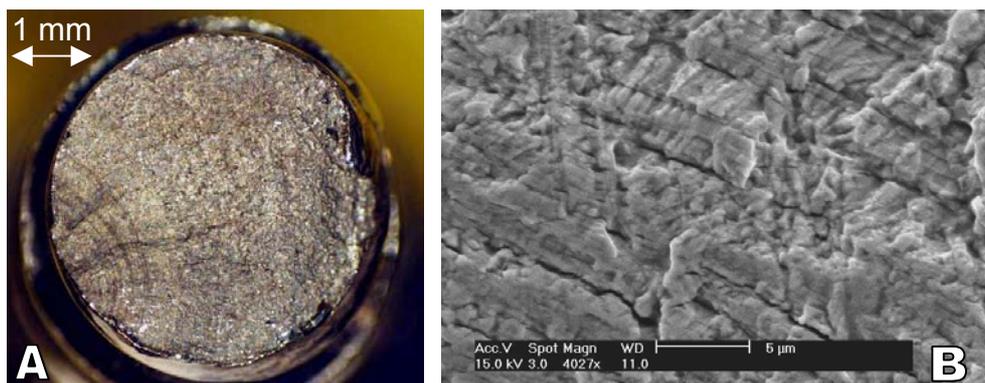
Figura 2: Desenho esquemático de conjuntos de prótese intramedular fixados ao osso.

5.3 - ANÁLISE VISUAL

O estudo das superfícies de fratura consistiu em documentação fotográfica, identificação do ponto de início da falha e avaliação dos micromecanismos de fratura.

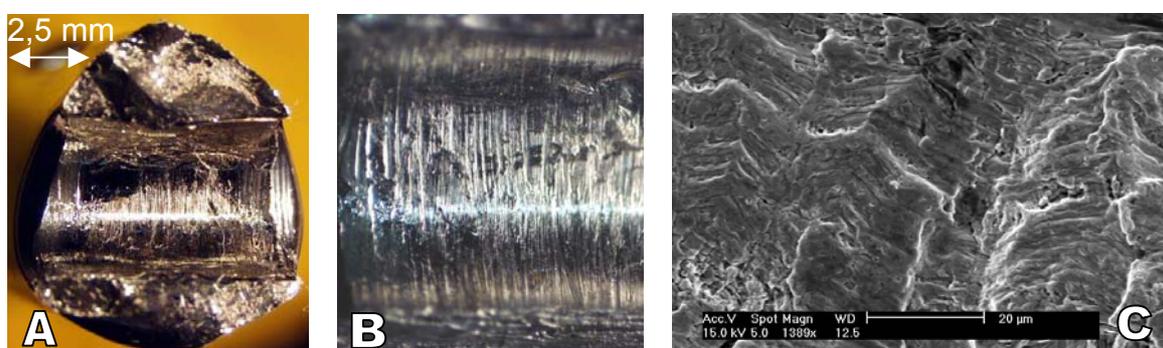
Através da análise visual do parafuso, ficou evidente que a trinca iniciou por fadiga a partir do fundo de um filete, devido às marcas de praia observadas (figura 3 A). A análise do parafuso em microscópio eletrônico de varredura (MEV) confirmou que a fratura ocorreu por fadiga devido à presença de microestrias de fadiga (Figura 3 B).

A superfície de fratura da haste se apresentava muito amassada de forma que foi impossível identificar a região de início da falha (figura 4 A). No furo da haste foram constatadas marcas que podem ser de usinagem ou devidas ao atrito com o parafuso (Figura 4 B) o que pode reduzir consideravelmente a vida em fadiga do componente. Para identificar os micromecanismos de fratura da haste, uma amostra da superfície fraturada foi analisada em microscópio eletrônico de varredura (MEV), no qual foram encontradas microestrias de fadiga (Figura 4 C).



Fonte: Microscópio óptico Microscópio Eletrônico de Varredura

Figura 3 - Superfície de fratura do parafuso. Na foto à esquerda observam-se marcas de praia concêntricas à região de início da fratura. Na foto à direita a imagem obtida em MEV mostra microestrias de fadiga.



Fonte: Lupa e Microscópio Eletrônico de Varredura

Figura 4 – Superfície de fratura da haste (A), em detalhe foto do furo da haste com marcas grosseiras de usinagem ou devidas ao atrito com a crista dos filetes (B), superfície fraturada observada em MEV mostrando microestrias de fadiga (C).

6 - ANÁLISE QUÍMICA

A haste foi submetida à análise química, através de um espectrômetro de emissão óptica (Spectro). Foram realizadas três análises e então feita a média, mostrada na tabela 1. O material utilizado na fabricação da haste se enquadra na faixa de composição de um aço inoxidável austenítico NBR ISO 5832-1.

Tabela 1 - Resultados da análise química da haste femoral (% em peso).

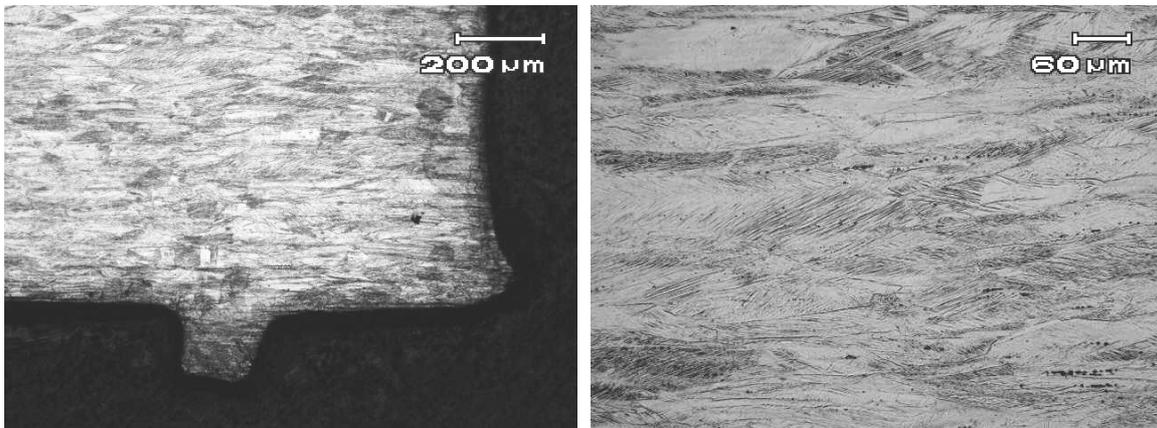
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Média	0,005	0,32	1,95	0,001	0,001	18,39	13,68	2,37
NBR ISO 5832-1	0,030	1,0	2,0	0,025	0,010	17,0 –	13,0 –	2,25
Composição D	máx	máx	máx	máx.	máx.	19,0	15,0	– 3,5

Fonte: LAMEF

7 - ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Para a análise microestrutural uma amostra longitudinal à superfície de fratura passando pela região de início da falha foi retirada e preparada de acordo com a norma NBR 13284 “Preparação de corpos de prova para análise metalográfica” tanto para o parafuso quanto para a haste.

O parafuso apresentou microestrutura austenítica com grãos alongados devido ao processo de fabricação (Figura 5). A haste apresentou microestrutura austenítica equiaxial e a presença de inclusões de óxido globular tipo D1 série fina (Figura 6). Na superfície de fratura da haste foram observadas microtrincas secundárias repletas de produtos de oxidação, o que indica que o material sofreu processo de corrosão associado à solicitação mecânica (figura 7).



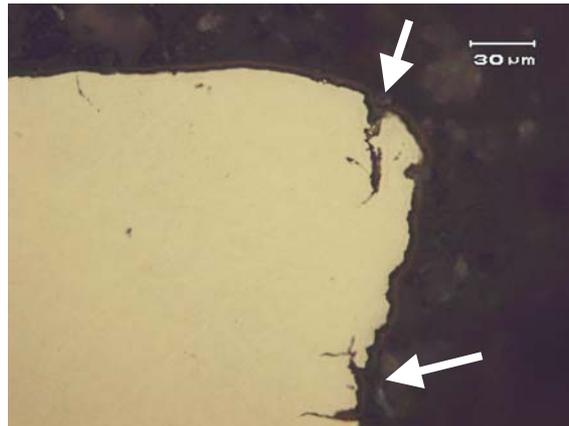
Fonte: Microscópio ótico

Figura 5 - Microestrutura do parafuso formada por grãos austeníticos deformados devido ao processo de fabricação.



Fonte: Microscópio ótico

Figura 6 – Microestrutura da haste mostrando na imagem à esquerda inclusões ASTM D1 série fina. À direita, microestrutura austenítica.



Fonte: Microscópio ótico

Figura 7 – Superfície de fratura da haste mostrando (setas) microtrincas secundárias com produtos de corrosão.

8 - DISCUSSÕES

Dois componentes não apresentavam identificação, o parafuso e o tampão. Segundo a Norma ABNT NBR 15165 Implantes ortopédicos – Requisitos gerais para marcação, embalagem e rotulagem, “implantes que tenham espaço suficiente para acomodar todas as informações aplicáveis têm que ser marcados com o máximo de informações possíveis, priorizando as informações na seguinte ordem:e) nome ou marca registrada do fabricante; f) número do lote ou número de série; g) identificação do material; h) a identificação de número de catálogo ou número de referência do produto; i) demais informações opcionais”.

A haste fraturou por fadiga coincidentemente com um furo no qual possivelmente estava fixado o parafuso que também fraturou por fadiga. O furo apresentava marcas grosseiras favorecendo a concentração de tensões e a propagação de trincas. Os componentes envolvidos na falha não apresentaram inconformidades de acordo com as normas vigentes. Sugere-se, portanto, que sejam analisadas as radiografias pós-operatórias para verificar se houve uma montagem crítica em termos de flexão da haste e para verificar qual dos dois componentes rompeu primeiro.

Na análise metalográfica da haste, foi detectada a presença de microtrincas secundárias o que indica que o material também sofreu processo de corrosão sob tensão.

9 - CONCLUSÕES

Dois dos componentes da prótese não apresentavam identificação, o que está em desacordo com a Norma ABNT NBR 15165 Implantes Ortopédicos – Requisitos Gerais para marcação, embalagem e rotulagem. A haste rompeu por fadiga, incentivada por marcas no interior do furo.

10 - AGRADECIMENTOS

LAMEF

11 - BIBLIOGRAFIA

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR ISO 15165: Implantes ortopédicos
2. Associação Brasileiras de Normas Técnicas - NBR ISO 5832-1: Implantes Para Cirurgia
3. ASM - METALS HANDBOOK - **Metallografy and Microstructures**. Volume 9, 9 ed. 1995.
4. ASM - Metals Handbook - **Properties and Selection: Stainless Steels**. Volume 3, 10 ed., 1990
5. PECKNER, D., BERNSTEIN, I.M., **Handbook of Stainless Steels**, 1º ed., 1977.
6. Silva, M. H. P - Apostila de Biomaterias
7. Materiais e Biocompatibilidade. Volume 1, capítulo 8, pagina 165-175.
8. Revista Matéria, volume 11, n. 2, pagina 138 – 145, 2006
<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10696>