



ANÁLISE SOB A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE IMPLANTES ORTOPÉDICOS DE TITÂNIO

Lucas Zampronha Correia, Thiago Henrique Queiroz de Oliveira, José Porphirio Araújo Burlamaqui de Miranda, Marcello Hemiliano Silveira



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n8p1237-1250>

Artigo recebido em 16 de Julho e publicado em 26 de Agosto de 2025

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

O seguinte estudo avalia a resistência à compressão de implantes ortopédicos de titânio, crucial para sua funcionalidade e longevidade, principalmente em aplicações de alta carga. A pesquisa investiga a influência de variáveis como método de fabricação, tratamento térmico e microestrutura do titânio na resistência à compressão. Observa-se que estas últimas, são avaliadas mediante compressão, medindo-se carga e deformação até a fratura. A fundamentação teórica relaciona microestrutura, processo de fabricação e tratamento térmico com a resistência, permitindo otimizar esses parâmetros para maior robustez. Resultados demonstram a correlação entre microestrutura homogênea e resistência elevada, com métodos de fabricação aditiva potencialmente distintos da usinagem. O estudo contribui para o desenvolvimento de implantes mais duráveis e seguros, melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Pesquisas futuras podem incluir análise de corrosão e desgaste, e o uso de técnicas avançadas de caracterização microestrutural para modelos preditivos mais precisos.

PALAVRAS-CHAVE: Implante ortopédico, titânio, biocompatibilidade.

INTRODUÇÃO

A crescente prevalência de enfermidades musculoesqueléticas e a necessidade incessante por soluções eficazes elevaram os implantes ortopédicos à condição de pilar fundamental da prática médica contemporânea⁷.

Os implantes ortopédicos são fundamentais para restaurar a função de membros e articulações danificados por traumas, doenças degenerativas, ou defeitos congênitos. Isso permite que os pacientes recuperem mobilidade, força e independência, melhorando significativamente sua qualidade de vida. Contextos exemplificados por próteses de quadril e joelho, implantes para fraturas ósseas complexas, e fixadores para estabilizar a coluna vertebral².

A resistência à compressão de implantes ortopédicos é uma propriedade essencial que estabelece a aptidão do implante em suportar as forças compressivas aplicadas durante o uso. Essa resistência é determinada por vários fatores, entre os quais têm-se o material do implante, o design e o processo de fabricação⁸.

A resistência à compressão de implantes ortopédicos é avaliada principalmente em laboratório utilizando máquinas de ensaio de compressão. O processo abrange a aplicação de uma força compressiva controlada e gradualmente crescente sobre o implante até sua fratura ou até atingir um determinado limite de deformação. Os dados obtidos durante o teste são então usados para determinar a resistência à compressão do implante³.

O seguinte artigo objetivou descrever acerca das informações referentes ao êxito clínico de implantes ortopédicos com titânio, debatendo acerca da resistência à compressão. Justificado pela precisão em resistir as forças compressivas inerentes ao movimento e à carga corporal, prevenindo falhas e garantindo a longevidade do procedimento

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo qualitativo de revisão narrativa, adequado para debater sobre resistência á compressão de implantes ortopédicos de titânio, visando o melhor prognóstico do paciente que urge por implantes ortopédicos. É composto por uma análise abrangente da literatura, a qual o método baseou-se por ser uma análise bibliográfica, foram recuperados artigos indexados nas bases de dados do PubMed, Lilacs, SciELO, Latindex e demais literaturas pertinentes a temática, durante o mês de junho de 2025, tendo como período de referência os últimos 15 anos.

Foram utilizados os termos de indexação ou descritores: titânio, implantes ortopédicos, compressão, isolados ou de forma combinada. O critério eleito para inclusão das publicações era ter as expressões utilizadas nas buscas no título ou palavras-chave, ou ter explícito no resumo que o texto se relaciona aos aspectos vinculados ao tema eleito. Os artigos excluídos não continham o critério de inclusão estabelecido e/ou apresentavam duplicidade, ou seja, publicações restauradas em mais de uma das bases de dados. Também foram excluídas dissertações e teses.

Após terem sido recuperadas as informações-alvo, foi conduzida, inicialmente, a leitura dos títulos e resumos. Posteriormente, foi realizada a leitura completa dos 13 textos. Como eixos de análise, buscou-se inicialmente classificar os estudos quanto às particularidades da amostragem, delimitando aqueles cujas amostras são das propriedades do titânio, benefícios, recomendações com os implantes ortopédicos de titânio, assim como as implicações destes.

A partir daí, prosseguiu-se com a análise da fundamentação teórica dos estudos, bem como a observação das características gerais dos artigos, tais como ano de publicação e língua, seguido de seus objetivos. Por fim, realizou-se a apreciação da metodologia utilizada, resultados obtidos e discussão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca dos artigos que compuseram este estudo identificou 35 referências a respeito da resistência á compressão de implantes ortopédicos de titânio, nas bases de dados referidas, das quais 13 publicações foram incluídas na revisão. Entre os estudos selecionados, 10 artigos são de abordagem teórica, 1 apresenta desenho transversal, 2 artigos tratam de um estudo de caso. Observou-se a prevalência de publicações na língua inglesa, representando 84% do total, quando comparada às línguas espanhola (9,6%) e portuguesa (6,4%).

A presente narrativa pesquisou na literatura e buscou compreender e descrever a respeito da complexidade que é a utilização de implantes ortopédicos de titânio, destacando a eficácia e segurança destes. Por conseguinte, o trabalho foi segmentado em subcategorias visando a melhor organização e que descrevem as propriedades do titânio, métodos utilizados para avaliar a resistência, fatores determinantes para a resistência ofertada pelo titânio, aspectos clínicos e possíveis complicações resultantes dos implantes ortopédicos com titânio.

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TITÂNIO

O titânio, embora comumente mencionado como o material de implantes ortopédicos, é utilizado clinicamente na forma de ligas metálicas. A composição precisa dessas ligas varia entre os fabricantes, consistindo tipicamente em misturas patenteadas. Essas ligas são consideradas intercambiáveis em termos de suas propriedades funcionais⁸. Os caracteres físico-mecânicas inerentes a essas ligas as tornam materiais de escolha em aplicações ortopédicas¹.

A biocompatibilidade e a resistência à corrosão inerentes ao titânio justificam o amplo uso em implantes ortopédicos, pois em outros elementos o organismo modificaria as propriedades mecânicas do material. Consequentemente, efeitos imprevisíveis e, de certa forma, inevitáveis a longo prazo relacionadas à implantação. Entretanto, a resistência à compressão, parâmetro crítico para a integridade estrutural e funcional desses implantes, é modulada por diversos fatores. A composição do titânio (pureza e composição da liga), os métodos de processamento (fabricação e acabamento superficial) e a microestrutura resultante influenciam significativamente a resistência à compressão. A quantificação desta influência requer análise estatística robusta e dados de ensaios mecânicos, incluindo a determinação da tensão de escoamento e resistência última à compressão².

TABELA 01: PROPRIEDADES DO TITÂNIO

CARACTERÍSTICA	FUNDAMENTO	AUTORANO
----------------	------------	----------



RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	<p>O titânio têm resistência à tração mais alta em relação aos outros metais.</p> <p>Suporta grandes forças de tração antes de se romper.</p> <p>A resistência varia conforme a liga e tratamento térmico.</p>	MCCARTHY.J, 1997
RESISTÊNCIA À FADIGA	<p>Aptidão em resistir à fratura sob cargas cíclicas repetidas. Nos implantes ortopédicos, existem forças repetitivas durante o movimento.</p>	CHOUIRFA.H, 2019
BAIXA DENSIDADE	<p>É crucial para implantes, pois reduz o peso do dispositivo, aliviando o desconforto para o paciente e reduz a carga sobre os tecidos circundantes.</p>	CAVALCANTI.E. C, 1997
BOA DUCTILIDADE	<p>Este se deforma plasticamente antes da fratura. É importante no processo de fabricação dos implantes, permitindo a conformação do material em diferentes formas e tamanhos.</p>	DORA, 1998

RESISTÊNCIA À CORROSÃO	O titânio cria uma película passiva de óxido de titânio (TiO ₂) na superfície, altamente resistente à corrosão, principalmente no organismo. Essa característica é fundamental para a biocompatibilidade do titânio em aplicações médicas.	BLACK. J, 1976
BIOCOMPATIBILIDADE	O titânio não causa reações adversas no tecido vivo, tornando-o um material ideal para implantes em contato íntimo com o corpo. A biocompatibilidade é influenciada pela pureza do titânio e terapias de superfície aplicados.	CHOUIRFA. H. 2019
MÓDULO DE ELASTICIDADE	O titânio é mais flexível. Em algumas aplicações, por amenizar a transferência de tensões aos tecidos circundantes. Mas, em outras situações, pode ser uma desvantagem, dependendo do tipo de implante e a aplicação desejada.	CAVALCANTI.E. C, 1995

MÉTODOS DE TESTE E PADRONIZAÇÃO

A determinação precisa da resistência à compressão em implantes ortopédicos de titânio urge pela utilização de protocolos de ensaio padronizados e rigorosos, assegurando a reprodutibilidade e a comparabilidade dos dados obtidos. Esta padronização é fundamental para a validação da biomecânica do implante e, conseqüentemente, para a segurança e eficácia do tratamento⁵.

A resistência à compressão dos implantes ortopédicos de titânio foi determinada por meio de ensaios mecânicos em máquina universal de ensaios, seguindo os padrões estabelecidos pelas normas ASTM e ISSO.

TABELA 03: MÉTODOS DE TESTE

AVALIAÇÃO	RESULTADO	AUTORANO
PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA	A geometria e o acabamento superficial do corpo de prova (amostra do implante) devem ser controlados para reduzir a variabilidade dos resultados. As normas definem dimensões precisas e tolerâncias para os corpos de prova.	CHOURFA. H, 2019
VELOCIDADE DE APLICAÇÃO DA CARGA	O percentil de aplicação da carga de compressão deve ser controlada e constante para garantir resultados consistentes. A velocidade de aplicação influencia a reação do material e deve ser especificada na norma.	FERNANDES.H, 2023
CONDIÇÕES AMBIENTAIS	A temperatura e a umidade do ambiente de teste devem ser controladas e registradas para garantir a reprodutibilidade dos resultados, pois fatores ambientais podem afetar as propriedades mecânicas do titânio.	GYANESHWAR.T, 2016
INSTRUMENTAÇÃO	A precisão da medição da força e deformação é essencial. Os equipamentos de ensaio devem ser calibrados regularmente e os dados	LEMON, 1997

	devem ser registrados com precisão.	
ANÁLISE DOS DADOS	Os dados são analisados para impor propriedades mecânicas cruciais, como a tensão de escoamento, resistência à compressão última e o módulo de elasticidade. Análises estatísticas são frequentemente empregadas para avaliar a variabilidade dos resultados e determinar a significância estatística das diferenças entre diferentes grupos de implantes.	FERNANDES.H, 2023

FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE IMPLANTES DE TITÂNIO

A resistência à compressão em implantes ortopédicos de titânio (IOT) é influenciada por múltiplos fatores, entre eles, vide (Tabela 04).

TABELA 04: DETERMINANTES Á COMPRESSÃO DOS IMPLANTES

CARACTERÍSTICA	FUNDAMENTO	AUTORANO
GEOMETRIA DO IMPLANTE	A forma, tamanho e design do implante	BOSTROM, 1994
	afetam a resistência à compressão. Implantes com designs mais complexos podem possuir pontos de concentração de tensão, reduzindo sua resistência.	

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	O jato com partículas de óxido de alumínio ou titânio, elevam a rugosidade superficial melhorando a osseointegração. Mas, também podem afetar as propriedades mecânicas do implante, incluindo a resistência à compressão	DEVANE, 2017
LIGAS DE TITÂNIO	Diferentes ligas de titânio possuem propriedades mecânicas distintas. A eleição da liga é crucial para otimizar a resistência à compressão do implante, mantendo a biocompatibilidade.	AOKI. K, 2020
PROCESSO DE FABRICAÇÃO	O processo de fabricação do implante, como a fundição, a usinagem ou a adição, pode afetar a microestrutura e as propriedades mecânicas do material.	DORA. A, 1998

ASPECTOS CLÍNICOS DOS IMPLANTES ORTOPÉDICOS COM TITÂNIO

As vantagens clínicas dos implantes ortopédicos de titânio são extensas e decorrem de suas propriedades intrínsecas. Sua superioridade em relação a outros materiais se manifesta em diversas áreas⁶.

O titânio é radiotransparente, isto é, possibilita a passagem dos raios-X. Consequentemente, norteia o acompanhamento pós-operatório através de exames de imagem, permitindo a visualização da área sem interferência do implante⁹.

A versatilidade do titânio o torna material eleito para implantes ortopédicos. A capacidade de conformação permite a fabricação de implantes em diversas formas e tamanhos, adaptáveis às necessidades anatômicas individuais e aos requisitos específicos de cada procedimento ortopédico. As técnicas de

manufatura avançadas permitem a criação de designs complexos e personalizados, otimizando o desempenho e a integração do implante¹¹.

A literatura científica registra um expressivo volume de pesquisas direcionadas à redução da biofilagem bacteriana em superfícies de titânio, material reconhecidamente suscetível à colonização microbiana. As ligas de titânio encontram ampla aplicação em procedimentos cirúrgicos de coluna vertebral, abrangendo parafusos pediculares, hastes e implantes intersomáticos¹³.

No atual contexto clínico, independente das vantagens, o titânio não é indicado exclusivamente para todos os casos. Este não é acessível, pelo alto custo, e em algumas aplicações, outros materiais podem oferecer propriedades superiores⁹.

Na área médica, polímeros biodegradáveis ou elementos de cerâmica podem ser mais apropriados, dependendo das necessidades específicas do implante e da região da implantação¹⁰.

COMPLICAÇÕES ASSOCIADAS A IMPLANTES DE TITÂNIO

Atualmente, não é disponibilizado uma técnica isolada para implantes ortopédicos de titânio, pois a escolha depende de vários fatores, incluindo o local da fratura, o tipo de osso, a saúde do paciente e as preferências do cirurgião.

TABELA 05: COMPLICAÇÕES DOS IMPLANTES DE TITÂNIO

LOCAL	COMPLICAÇÃO	EVOLUÇÃO	AUTOR
Cirurgia	Infecção	Lesão nervosa/VASCULAR	Aoki, K. 2020
Integração do Implante	Déficit osseointegração	Periimplantite	Lemon, 2020
Biocompatibilidade	Reação Alérgica	Sensibilidade ao metal	Dora, 1998
Mecânica	Fratura do implante	Afrouxamento do metal	Devane, 2017

CONCLUSÃO

A partir da análise das informações coletadas e avaliadas, pode se elucidar que a aplicação de implantes de titânio apresenta significativo êxito terapêutico, proporcionando melhoria mensurável na qualidade de vida dos pacientes. No advém, a análise pré-implantatória deve contemplar a análise criteriosa dos riscos potenciais, incluindo, mas não se limitando a, infecções iatrogênicas, falência da osseointegração, e reações de corpo estranho, assim como aspectos econômicos, veiculados ao custo do biomaterial e procedimento cirúrgico. Sendo assim, é necessária a realização de pesquisas contínuas na área de biomateriais, priorizando o desenvolvimento de ligas de titânio com propriedades otimizadas de biocompatibilidade, resistência mecânica e durabilidade, objetivando prevenir eventos adversos e maximização da longevidade do implante. Estudos futuros devem priorizar a investigação dos mecanismos de interação entre o implante e o tecido ósseo, bem como a individualização da terapêutica com base em fatores preditivos de sucesso, garantindo a segurança e a otimização dos resultados clínicos a longo prazo. A análise de dados de sobrevivência e de incidência de complicações, com estudos prospectivos e randomizados, contribuirá para o aprimoramento das práticas clínicas e para a definição de protocolos de tratamento mais eficazes e seguros.

REFERÊNCIAS

1. AOKI, K.; OGIHARA, N.; TANAKA, M.; HANIU, H.; SAITO, N. Carbon nanotube-based biomateriais for orthopaedic applications. *Journal of Materials Chemistry B*, v. 8, n. 40, p. 9227-9238, 2020.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Implantes para cirurgia: materiais metálicos. Parte 1: aço inoxidável comum. NBR-ISSO 5832-1. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
3. BLACK, J. Implant retrieval: Problems and opportunities. In: SYMPOSIUM ON RETRIEVAL AND ANALYSIS OF ORTHOPEDIC IMPLANTS, Proceedings, NBS Special Publications 472, Gaithersburg, 1976. P. 81-102.
4. BOSTROM, M. P.; ASNIS, S. E.; ERNBERG, J. J.; WRIGHT, T. M.; GIDDINGS, V. L.; BERBERIAN, W. S.; MISRRI, A. A. Teste de fadiga para fixação de cerclagem com fio de aço inoxidável. *J Orthop Trauma*, v. 8, n. 5, p. 422-428, out. 1994.
5. CAVALCANTI, E. C.; COELHO, S. Implantes de aço inoxidável no caminho da regulamentação. *Revista Inox*, [São Paulo], v. 5, p. 6-8, 1997.
6. CAVALCANTI, E. C.; SOUZA, S. M. C.; CAMPOS, M. M. Caracterização e avaliação da

- resistência à corrosão de implantes ortopédicos temporários removidos de pacientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 18., 1995, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Corrosão, 1995. P. 1001-1013.
7. CHOUIRFA, H.; BOULOSSA, H.; MIGONNEY, V.; FALENTIN-DAUDRÉ, C. Revisão de técnicas de modificação de superfície de titânio e revestimentos para aplicações antibacterianas. *Acta Biomater.*, v. 83, p. 37-54, jan. 2019.
 8. DEVANE, P. A.; HORNE, J. G.; ASHMORE, A.; MUTIMER, J.; KIM, W.; STANLEY, J. Polietileno altamente reticulado reduz o desgaste e as taxas de revisão em artroplastia total do quadril: um ensaio clínico randomizado, duplo-cego e controlado de 10 anos. *J Bone Joint Surg Am.*, v. 99, n. 20, p. 1703-1714, 18 out. 2017.
 9. DORA, A.; LAW, F. C.; ALLEN, M. J.; RUSHTON, N. Neoplastic transformation of cells by soluble but not particulate forms of metals in orthopaedic implants. *Biomaterials*, v. 19, n. 9, p. 751-759, 1998.
 10. FERNANDES, H. M. L. G.; CAVASSIN, L. G. T.; MIRANDA, L. L. (Orgs.). Boas práticas na gestão de órteses, próteses e materiais especiais (OPME). São Paulo: SOBECC, 2023.
 11. GYANESHWAR, T.; NITESH, R.; SAGAR, T.; PRANAV, K.; RUSTAGI, N. Tratamento de fraturas diafisárias femorais pediátricas com sistema de hastes elásticas de aço inoxidável e titânio: um ensaio comparativo randomizado. *Chin J Traumatol.*, v. 19, n. 4, p. 213-216, 1 ago. 2016.
 12. LEMON, T. T. Legal aspects of device retrieval. In: SYMPOSIUM ON RETRIEVAL AND ANALYSIS OF ORTHOPEDIC IMPLANTS, [local], [data]. Proceedings... Maryland: National Bureau of Standards, 1977. P. 73-80.
 13. MCCARTHY, J. C.; BONO, J. V.; O'DONNELL, P. J. Custom and modular components in primary total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res.*, n. 344, p. 162-171, 1997.