

Aplicação da tecnologia de manufatura aditiva (3D) no planejamento, execução e reconstrução de defeito segmentar do fêmur

Application of additive manufacturing (3D) technology in the planning, execution, and reconstruction of segmental defect in femur

Mauro R. Vivas¹ 

RESUMO

A tecnologia aditiva (impressão 3D) permite a transformação de imagens digitais em modelos tridimensionais, facilitando a interpretação, a criação de guias de corte personalizados e a produção de implantes sob medida em reconstruções complexas. O caso apresentado descreve uma seqüela de reconstrução femoral mal-sucedida após o tratamento de um tumor marrom devido a hiperparatireoidismo primário não tratado, resultando em encurtamento, deformidade e perda óssea em um contexto de infecção crônica ativa. Este relato de caso destaca a utilidade da tecnologia aditiva na interpretação, planejamento, execução e, por fim, na reconstrução com um implante personalizado. Os resultados obtidos em cada etapa do processo demonstraram previsibilidade do resultado final, associada a menor tempo cirúrgico e menor sangramento. O implante personalizado para este paciente pôde ser submetido a diversas revisões e ajustes com base em testes realizados com impressão 3D.

Palavras-chave: impressão 3D, cirurgia reconstrutiva, implante personalizado, tumor marrom.

SUMMARY

Additive technology (3D printing) allows the transformation of digital images into three-dimensional models, facilitating interpretation, customized cutting guides, and custom-made implants in complex reconstructions. The case presented here involves a sequela of failed femur reconstruction following treatment of a brown tumor due to untreated primary hyperparathyroidism, resulting in shortening, deformity, and bone loss in the context of a chronic active infection. This case report highlights the use of additive technology in the interpretation, planning, execution, and final reconstruction with a custom-made implant. The results obtained at each stage of the process demonstrated predictability of the final outcome, associated with shorter surgical time and less bleeding. The custom implant designed for this case can undergo several revisions based on the tests performed with 3D printing.

Keywords: 3D printing, reconstructive surgery, customized implant, brown tumor.

1. Hospital de Alta Complejidad El Cruce, Buenos Aires Argentina. Sector Miembro inferior – Reconstrucción ósea

Autor Responsável: Mauro R. Vivas / **E-mail:** vivasmauro@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A tecnologia ou manufatura aditiva a partir da impressão 3D foi uma ferramenta introduzida na década de 1980 com fins industriais e de engenharia; contudo, somente após 2014 começamos a encontrar artigos biomédicos sobre sua aplicação em Ortopedia e Traumatologia.¹ A impressão 3D é empregada tanto no âmbito assistencial quanto acadêmico de nossa especialidade. Na prática clínica, facilita o planejamento e melhora a precisão cirúrgica por meio de testes-piloto e ajustes.² Academicamente, permite desenvolver atividades de ensino e aperfeiçoamento de habilidades cirúrgicas, sendo mais acessível que a prática em cadáveres.³

Atualmente, após mais de uma década de utilização, encontramos artigos de elevado rigor metodológico que demonstram o benefício no ato cirúrgico, reduzindo o tempo operatório, o sangramento e aumentando a previsibilidade do resultado em relação ao programado.⁴ A reconstrução com implantes customizados teve início na década de 80, principalmente para ressecções tumorais, com resultados regulares a médio prazo.⁵ A partir da implementação da tecnologia aditiva, o processo tornou-se mais ágil e expandiu-se ainda mais após 2020 na Argentina.⁶ Essa acessibilidade permitiu o design de modelos e implantes inéditos. Este caso avalia as etapas de planejamento, desenvolvimento e execução na reconstrução de um defeito segmentar causado por uma complicação de um tumor pardo, utilizando tecnologia aditiva 3D.

RELATO DO CASO

Paciente do sexo feminino, 24 anos, com hiperparatireoidismo primário, encaminhada à nossa instituição por apresentar sequela de uma falha de reconstrução de tumor pardo. Ao exame físico, a paciente encontrava-se acamada, sem deambular há 14 meses, apresentando fístula ativa com mobilidade e deformidade na coxa direita. As radiografias evidenciavam acentuada perda de densidade óssea e uma reconstrução falha com malha de arame e osteossíntese, associada a uma deformidade em varo, rotação e encurtamento do fêmur direito (Figura 1).

A paciente foi avaliada de forma multidisciplinar e optou-se por tratar a doença primária e a alteração fosfocálcica inicialmente por meio de uma paratireoidectomia, realizada pela equipe de cirurgia de cabeça e pescoço. Uma vez atingidos os níveis e a estabilidade do metabolismo fosfocálcico pela endocrinologia, iniciou-se o planejamento da reconstrução ortopédica.

Após nove meses da cirurgia e com parâmetros fosfocálcicos adequados, procedeu-se ao primeiro tempo cirúrgico: retirada da osteossíntese, desbridamento com critério oncológico, colocação de haste intramedular de fêmur maciça com cimento e espaçador de cimento com antibiótico para o defeito residual (Figura 2).

A paciente apresentou cultura positiva para *Staphylococcus aureus* resistente à metilina (MRSA), que foi adequadamente tratada e acompanhada pelo serviço de infectologia. Durante o pós-operatório, apresentou evolução favorável e sem intercorrências, alcançando a deambulação com auxílio de andador no terceiro mês. Oito meses após a cirurgia, obteve cultura negativa e a alta infectológica.

A partir desse momento, iniciou-se o planejamento digital com base na tomografia computadorizada realizada, na qual se determinou o defeito a ser resolvido e os cortes necessários para a colocação do implante customizado intercalar, bem como o design das guias de corte necessárias para tal fim (Figura 3).



Figura 1. 1) Radiografia (Rx) da coxa direita, na qual se evidencia a deformidade, rotação e falha do material. 2) Figura clínica com cicatrizes e presença de duas fístulas.

O primeiro procedimento cirúrgico da reconstrução consistiu na retirada do espaçador, coleta de amostras para cultura e exame anatopatológico, realização dos cortes com as guias conforme o planejado e colocação de um novo espaçador, visando à indução da membrana descrita por Masquelet.

Após sete semanas, com culturas novamente negativas e o design ajustado às novas margens, realizou-se o segundo procedimento:

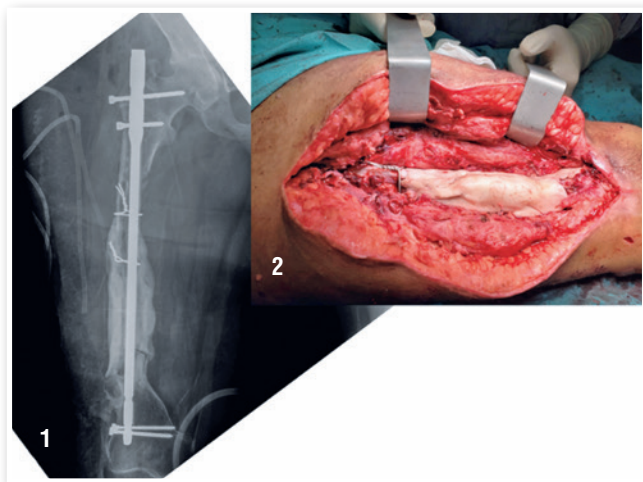


Figura 2. 1) imagem radiológica pós-retirada de material e colocação de haste intramedular e espaçador de cimento com antibiótico. 2) imagem intraoperatória do espaçador.

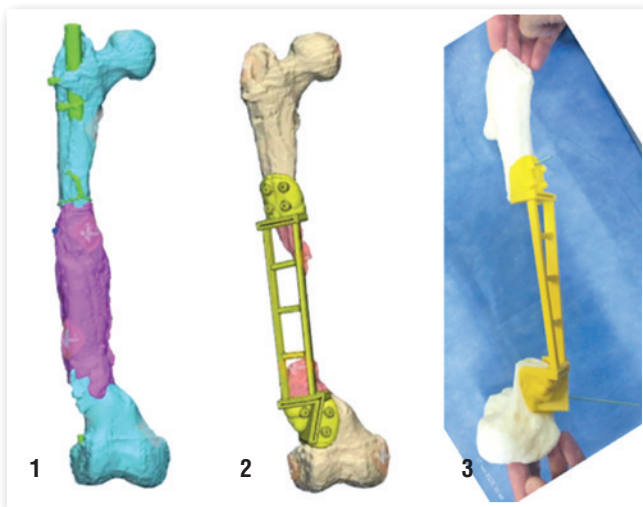


Figura 3. 1) segmentação da tomografia de fêmur. 2) design da guia de corte para regularização do defeito. 3) impressão do segmento e das guias de teste.

troca da haste intramedular e colocação de implante customizado multiperfurado, preenchido com 70 cm³ de enxerto de banco, enxerto autólogo e aspirado de medula óssea no interior do espaço formado pela membrana induzida (Figura 4).

O procedimento foi bem tolerado e a paciente recebeu alta 15 dias após a internação. Após três semanas, iniciou a deambulação com auxílio (andador) e, aos seis meses, utilizava muletas canadenses (Figura 5).

DISCUSSÃO

A etapa inicial consistiu na caracterização da paciente: sexo feminino, 24 anos, sem tratamento prévio para a doença de base, em acompanhamento psicológico/psiquiátrico por depressão e crises esquizoides, sem vínculos sociais além de sua mãe, que é seu único suporte. Nesse contexto, diante dos diversos problemas a serem resolvidos, optou-se pela atuação em etapas: tratamento da doença de base, controle do quadro infectológico e posterior reconstrução. A abordagem multidisciplinar melhora substancialmente os resultados em qualquer cenário, sendo de vital importância para o ortopedista quando a patologia é consequência de uma doença de base que gera distúrbios no metabolismo ósseo.⁷ Por essa razão, priorizou-se o tratamento cirúrgico do adenoma de paratireoide pela equipe de Cirurgia de Cabeça e Pescoço, com subsequente adequação do distúrbio metabólico pela Endocrinologia.

A manufatura aditiva, comumente conhecida como tecnologia 3D, foi fundamental nas três etapas do tratamento ortopédico. Na etapa de planejamento, a digitalização do problema e sua manipulação permitiram quantificar o defeito e a deformidade óssea, bem como propor diferentes estratégias antes da tomada de decisões.

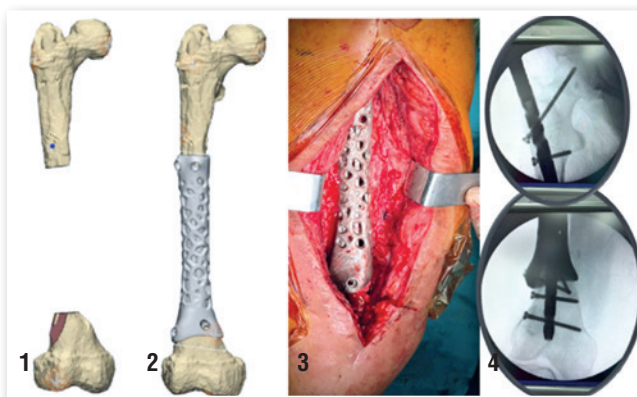


Figura 4. 1 e 2) design do implante customizado a partir dos cortes realizados previamente. 3) imagem intraoperatória do implante. 4 e 5) imagem de intensificador de imagens durante a cirurgia.

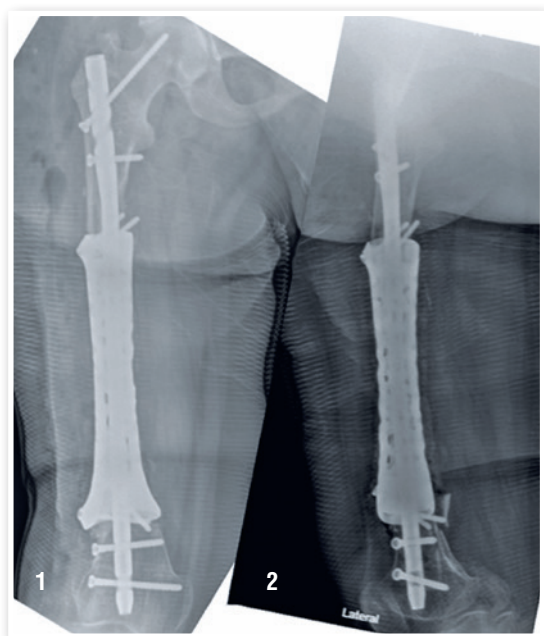


Figura 5. 1 e 2) controle radiográfico aos 6 meses, com boa estabilidade e sem sinais de falha radiológica.

Posteriormente, na fase de execução, as guias de corte foram testadas em modelos ósseos impressos para ajustar o planejamento pré-cirúrgico. Durante a intervenção, a realização de testes permitiu maior precisão, reduziu o sangramento e abreviou o tempo operatório, conforme documentado na literatura.² Vale destacar que, atualmente, os custos associados à impressão 3D de alta qualidade são baixos e a acessibilidade é consideravelmente elevada — fator fundamental para o cumprimento dos cronogramas cirúrgicos. Além disso, essa tecnologia apresenta uma característica única: permite a obtenção de informações tangíveis, indo além do ambiente digital.

Na fase reconstrutiva, a escolha pela reconstrução protética em detrimento da osteogênese por distração ou da reconstrução com enxerto maciço fundamentou-se na menor exigência de características biológicas do segmento envolvido, bem como na colaboração e perfil da paciente. Além disso, oferece a vantagem de proporcionar estabilidade mecânica precoce.⁸ Por outro lado, um implante customizado com trabéculas para a acomodação de material osteoindutor poderia otimizar a integração, apresentando maior sobrevida do que um implante padrão.⁹

Tais designs ainda não foram protocolados e não há definição sobre qual material, porosidade, rigidez e elasticidade seriam ideais para substituir um segmento ósseo e alcançar uma integração uniforme, bem como um comportamento genuinamente biológico. Por esse motivo, é necessária uma equipe médica experiente em colaboração mútua com bioengenheiros para o alcance de resultados

favoráveis.¹⁰ A decisão por um implante cavitário para a colocação de enxerto associado ao aspirado de medula óssea sobre uma membrana induzida (técnica de Masquelet)¹¹ visou promover a angiogênese e a osteogênese sobre o implante para uma melhor integração.¹² Atualmente, pesquisam-se diversos materiais que aumentem a biocompatibilidade com o objetivo de reduzir a soltura mecânica de implantes construídos com materiais convencionais¹³, embora ainda não existam resultados clinicamente relevantes.

Atualmente, a paciente apresenta um ano de seguimento, com marcha assistida por muleta, sem alterações radiológicas relevantes, com independência adaptada ao seu estado atual e sem recorrência infectológica.

A tecnologia 3D demonstrou melhorar amplamente os resultados finais das cirurgias, pois aprimora a interpretação do problema, permite a realização de testes prévios ao ato definitivo e possibilita o design de implantes ou próteses que se ajustam à complexidade do paciente. Atualmente, a paciente, com um ano de evolução, apresenta deambulação com carga total e auxílio parcial, ausência de dor, independência em suas atividades cotidianas e interesse em retomar sua formação acadêmica.

REFERÊNCIAS

1. Garay AL, Cinalli M, Fernández L, Inchaurregui F, Ruesta Alava JA, Arrieta A, et al. Uso de modelos de impresión 3D en Ortopedia y Traumatología: Serie de casos. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2024;89(3):266-74.
2. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online.* 2016;15(1):115.
3. Chytas D, Noussios G, Salmas M, Demesticha T, Vasiliadis AV, Troupis T. The effectiveness of three-dimensional printing in undergraduate and postgraduate anatomy education: a review of reviews. *Morphol Bull Assoc Anat.* 2024;108(361):100759.
4. Gauci MO. Patient-specific guides in orthopedic surgery. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2022;108(1 Suppl):103154.
5. Stulberg SD, Stulberg BN, Wixson RL. The rationale, design characteristics, and preliminary results of a primary custom total hip prosthesis. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(249):79-96.
6. Beatti MA, Zublin Guerra CM, Guichet DM, Pellicchia TS, Beatti MA, Zublin Guerra CM, et al. Defectos óseos segmentarios: uso de implantes de titânio trabecular diseñados a medida. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2022;87(2):219-37.
7. Instituto Nacional para la Excelencia en la Salud y la Atención. Hiperparatiroidismo (primario): diagnóstico, evaluación y tratamiento inicial. Londres: NICE; 2019.

8. Wumaierjiang Y, Hamiti Y, Yalikun A, Yusufu A. Comparison of orthofix external fixator combined with vascularized fibula graft versus single segmental femoral lengthening for treating femoral defects ≥ 6 cm: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2025;26(1):175.
9. Wu P, Liu X, Guo Z, Lau L. Personalization and Precision: Innovative Applications and Future Challenges of Additive Manufacturing in Orthopedic Implants. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. 2026;44(2): e70082.
10. Trompeter A, Agrawal S, Mangwani J, Davies MB. Custom 3D implants for managing bone defects-indications and lessons learned. *Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol*. 2025; 36(1):62.
11. Ahmed H, Shakshak M, Trompeter A. A review of the Masquelet technique in the treatment of lower limb critical-size bone defects. *Ann R Coll Surg Engl*. 2025;107(6):383-9.
12. Duan Q, Shao H, Luo N, Wang F, Cheng L, Ying J, et al. 3D-printed artificial bone scaffolds: the design of materials, the incorporation of bioactive substances, and the integration of vascularized tissue flaps. *Front Bioeng Biotechnol*. 2025;13:1614727.
13. Jha G, Mahi G, Malasani S, Onsa M, Barakat A. 3D Bioprinting for Custom Bone Grafts in Orthopaedic Trauma: Current Advances and Clinical Translation. *Cureus*. 2025;17(11):e96594.