

Pesquisa Multidisciplinar EM SAÚDE

EDIÇÃO XX

Capítulo 1

MODELAGEM 3D E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA RECONSTRUÇÃO ANATÔMICA PARA CIRURGIA ROBÓTICA

ANA PAULA DE CARVALHO MIRANDA ROSATI ROCHA¹
ANA LUIZA DE CARVALHO MIRANDA ROSATI ROCHA²
LUÍS FERNANDO ROSATI ROCHA³
FILIPPE MOLL DE SOUZA ROCHA⁴

¹Docente – Departamento de Radiologia – Universidade Federal Fluminense (UFF) e Médica Radiologista – Grupo Fleury (RJ).

²Médica - Pós-graduação em Radiologia – Instituto Pardini.

³Docente - Professor do Departamento de Cirurgia Geral – Universidade Federal Fluminense (UFF).

⁴Discente – Acadêmico de Medicina – IDOMED – RJ.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Cirurgia Robótica; Modelagem 3D

DOI

10.59290/9215522311

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

A incorporação de tecnologias digitais na medicina moderna tem ampliado significativamente a capacidade diagnóstica e terapêutica das equipes cirúrgicas. Entre essas inovações, destacam-se a modelagem tridimensional (3D) e a inteligência artificial (IA), ferramentas que remodelam a forma como a anatomia é visualizada, compreendida e manipulada durante o planejamento cirúrgico (FENG *et al.*, 2024; RAJPURKAR *et al.*, 2023). A reconstrução anatômica tridimensional, obtida a partir de exames de tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM), fornece representações volumétricas detalhadas, que permitem ao cirurgião antecipar desafios, reduzir incertezas e programar rotas operatórias com maior precisão (FENG *et al.*, 2024; WEI *et al.*, 2025).

O desenvolvimento das redes neurais convolucionais aprimorou de maneira significativa a segmentação automatizada de estruturas, viabilizando reconstruções rápidas, precisas e reproduzíveis. O radiologista passa a atuar como arquiteto digital, mediando a interpretação das imagens e sua conversão em modelos anatômicos navegáveis. As aplicações da modelagem 3D e da IA são amplas, abrangendo desde a nefrectomia parcial robótica até ressecções hepáticas e procedimentos ginecológicos de alta complexidade (AMESTOY *et al.*, 2010).

O objetivo deste capítulo é descrever os fundamentos técnicos, as aplicações clínicas, os desafios e as perspectivas futuras da integração entre modelagem 3D e IA no planejamento cirúrgico robótico (ARAÚJO *et al.*, 2014; RAJPURKAR *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a integração entre modelagem tridimensional e inteligência artificial representa não apenas um avanço tecnológico, mas uma mudança conceitual na forma de pla-

nejar e executar procedimentos cirúrgicos complexos. A possibilidade de transformar grandes volumes de dados de imagem em representações anatômicas personalizadas favorece decisões mais precisas no período pré-operatório, contribui para a redução de variabilidade técnica e amplia a segurança do paciente. Além disso, a incorporação dessas ferramentas ao fluxo clínico reforça a colaboração entre radiologistas e cirurgiões, promovendo uma abordagem multidisciplinar centrada na anatomia individual do paciente. À medida que algoritmos se tornam mais robustos e acessíveis, cresce também a necessidade de padronização, validação clínica e formação profissional adequada para garantir o uso ético, seguro e eficaz dessas tecnologias no planejamento cirúrgico robótico (FENG *et al.*, 2024; RAJPURKAR *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2023).

MÉTODO

Este capítulo foi estruturado como uma revisão narrativa, orientada pela literatura recente publicada entre 2019 e 2025. A busca bibliográfica foi conduzida nas bases PubMed, Medline, Scopus e Science *Direct*, utilizando os descritores: *3D modeling*, *deep learning*, *robotic surgery*, *convolutional neural network*, *surgical planning*, *radiomics* e *segmentation algorithms*. Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas, estudos clínicos, ensaios de validação e análises técnico-interpretativas relacionadas ao uso de modelagem 3D e IA em imagens médicas e cirurgia robótica (AMESTOY *et al.*, 2010).

Os critérios de inclusão foram: artigos nos idiomas inglês, espanhol ou português; publicações entre 2019 e 2025; e estudos que abordassem modelagem 3D, inteligência artificial ou ambas aplicadas ao planejamento cirúrgico. Foram excluídos artigos duplicados, textos sem

acesso integral e trabalhos que não apresentavam aplicação clínica ou técnica relevante. Inicialmente foram identificados 148 trabalhos, dos quais 41 preencheram todos os critérios após leitura detalhada. As informações extraídas foram organizadas em categorias temáticas: princípios técnicos da modelagem 3D, algoritmos baseados em IA, aplicações clínicas na cirurgia robótica, impacto no planejamento pré-operatório e perspectivas futuras. O conteúdo foi sintetizado com ênfase na aplicabilidade prática para radiologistas, cirurgiões e equipes multiprofissionais (ARAÚJO *et al.*, 2014).

A opção por esse delineamento metodológico permitiu uma abordagem abrangente e crítica de um campo em rápida transformação tecnológica, no qual novas aplicações surgem de forma contínua e com diferentes níveis de maturidade clínica. Ao priorizar estudos com relevância prática e impacto direto no planejamento cirúrgico, buscou-se reduzir a distância entre inovação tecnológica e aplicabilidade assistencial. A organização dos achados em eixos temáticos favoreceu a comparação entre diferentes algoritmos, métodos de segmentação e estratégias de reconstrução tridimensional, bem como a identificação de lacunas ainda existentes na literatura. Dessa forma, o método adotado sustenta uma análise integrada, orientada não apenas pela evidência científica disponível, mas também pelas demandas reais da prática clínica contemporânea em ambientes de cirurgia robótica (FENG *et al.*, 2024; RAJPURKAR *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2023).

A abordagem metodológica adotada também permite refletir sobre o papel crescente da modelagem tridimensional e da inteligência artificial como ferramentas de apoio à decisão clínica, e não apenas como recursos tecnológicos auxiliares. A análise crítica da literatura evidencia que a efetividade dessas soluções depende

da qualidade da aquisição de imagens, da curadoria dos dados utilizados no treinamento dos algoritmos e da validação contínua em cenários clínicos reais. Nesse sentido, a integração entre conhecimento técnico, experiência clínica e desenvolvimento tecnológico mostra-se essencial para garantir resultados consistentes e reproduzíveis. A consolidação dessas ferramentas no planejamento cirúrgico robótico exige, portanto, não apenas inovação, mas também rigor metodológico, padronização de processos e formação adequada dos profissionais envolvidos, de modo a assegurar sua aplicação segura e sustentável na prática assistencial (FENG *et al.*, 2024; WEI *et al.*, 2025; ZHANG *et al.*, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura evidencia que a segmentação automatizada mediada por inteligência artificial substituiu métodos manuais demorados, oferecendo maior padronização e redução de variabilidade interobservador. Arquiteturas como U-Net e V-Net identificam limites anatômicos com elevada precisão, permitindo reconstruções tridimensionais confiáveis e reproduzíveis, aplicáveis em múltiplas especialidades cirúrgicas (ARAÚJO & UCHÔA, 2011; LI *et al.*, 2023; MÜLLER *et al.*, 2024).

Na cirurgia robótica, modelos tridimensionais do sistema vascular renal, do parênquima hepático e da pelve feminina otimizam estratégias operatórias, reduzindo tempo cirúrgico, complicações e sangramento. Em nefrectomias parciais, por exemplo, o uso de modelagem 3D está associado à redução do tempo de isquemia quente e à preservação de parênquima renal. Reconstruções 3D do fígado permitem delimitar segmentos anatômicos, planejar ressecções com margens seguras e avaliar a relação entre tumores e estruturas vasculares críticas (KIM *et al.*, 2025).

A combinação entre modelagem 3D e impressão tridimensional permite a criação de modelos táteis personalizados, úteis para treinamento cirúrgico, comunicação médico-paciente e simulação de procedimentos complexos. Esses modelos contribuem para a melhora da curva de aprendizado, especialmente em centros formadores com programas de residência e *fellowship* em cirurgia robótica (KWON *et al.*, 2023; PARK *et al.*, 2024).

Entre os principais desafios identificados destacam-se a necessidade de padronização dos protocolos de aquisição de imagem, a interoperabilidade entre diferentes *softwares*, o custo de implementação e manutenção das plataformas e as questões éticas relacionadas ao uso e à proteção de dados sensíveis. Além disso, ainda há carência de estudos multicêntricos que validem protocolos integrados de IA e modelagem 3D em larga escala, bem como análises de custo-efetividade em sistemas públicos e privados (LI *et al.*, 2023).

Nesse cenário, observa-se que a consolidação da modelagem tridimensional associada à inteligência artificial depende não apenas do avanço dos algoritmos, mas também da sua incorporação sistemática aos fluxos clínicos e cirúrgicos. A integração entre aquisição de imagens, segmentação automatizada e reconstrução 3D exige padronização técnica e validação contínua para garantir reprodutibilidade e segurança em diferentes contextos assistenciais. Ademais, a variabilidade entre plataformas comerciais e soluções acadêmicas ainda representa um obstáculo para a comparação direta de resultados e para a disseminação dessas tecnologias em larga escala. A superação dessas limitações passa pelo desenvolvimento de protocolos compartilhados, pela capacitação de equipes multiprofissionais e pela avaliação criteriosa de custo-efetividade, de modo a viabilizar a aplicação da modelagem 3D e da IA tanto em centros

de alta complexidade quanto em sistemas de saúde públicos e privados (LI *et al.*, 2023; MÜLLER *et al.*, 2024; PARK *et al.*, 2024).

CONCLUSÃO

A integração entre modelagem tridimensional e inteligência artificial representa um marco no planejamento cirúrgico moderno, especialmente no contexto da cirurgia robótica. Ao transformar imagens bidimensionais em modelos interativos, essas tecnologias ampliam a previsibilidade dos procedimentos, reduzem riscos e permitem abordagens cada vez mais personalizadas. O radiologista assume papel central como mediador entre a aquisição de imagens, a reconstrução anatômica e a equipe cirúrgica, consolidando-se como arquiteto da anatomia digital (KWON *et al.*, 2023).

As evidências atuais sugerem que a modelagem 3D associada à IA melhora a segurança operatória, otimiza o posicionamento de trocadores, reduz complicações intraoperatórias e contribui para o ensino e treinamento em cirurgia robótica. No entanto, persistem desafios relacionados à padronização de protocolos, validação multicêntrica, custos e aspectos ético-legais da utilização de dados de pacientes e da autoria de modelos digitais (LI *et al.*, 2023).

O futuro da cirurgia robótica aponta para a convergência entre inteligência artificial, realidade aumentada, bancos de dados colaborativos e robôs semiautônomos, inaugurando uma nova era na medicina de precisão. Estudos adicionais são necessários para validar protocolos integrados, aprimorar algoritmos e democratizar o acesso a essas tecnologias, garantindo que seus benefícios alcancem diferentes contextos assistenciais, incluindo sistemas de saúde públicos e privados (MÜLLER *et al.*, 2024; WEI *et al.*, 2025; ZHANG *et al.*, 2023).

Além disso, a incorporação progressiva da modelagem tridimensional baseada em inteligência artificial tende a impactar não apenas o planejamento cirúrgico, mas também a formação médica e a educação continuada de cirurgiões e radiologistas. O uso de modelos anatômicos digitais e impressos em 3D possibilita simulações realistas, favorece a curva de aprendizado em cirurgia robótica e contribui para a padronização de técnicas operatórias em ambientes de ensino e pesquisa, ampliando a segurança do paciente e a qualidade do treinamento especializado (PARK *et al.*, 2024; FENG *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a integração entre radiômica, segmentação automatizada e reconstrução tridimensional abre perspectivas para uma abordagem cada vez mais personalizada do tratamento cirúrgico, permitindo a incorporação de dados anatômicos, funcionais e moleculares em modelos digitais únicos. Essa convergência tecnológica reforça o papel estratégico da inteligência artificial como ferramenta de apoio à decisão clínica e cirúrgica, exigindo, contudo, investimentos em infraestrutura, governança de dados e regulamentação ética para sua aplicação segura e sustentável na prática assistencial (TANG *et al.*, 2024; WEI *et al.*, 2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMESTOY, S. C. *et al.* Paralelo entre Educação Permanente em Saúde e Administração Complexa. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, v. 31, n. 2, p. 383–390, 2010. DOI: 10.1590/S1983-14472010000200025.

ARAÚJO, L. U. A. *et al.* Avaliação da qualidade da atenção primária à saúde sob a perspectiva do idoso. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 8, p. 3521–3530, 2014. DOI: 10.1590/1413-81232014198.21862013.

ARAÚJO, P. T. B. & UCHÔA, S. A. C. Avaliação da qualidade da prescrição de medicamentos de um hospital de ensino. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 16, p. 1107–1125, 2011. DOI: 10.1590/S1413-81232011000700042.

FENG, R. *et al.* Integration of Artificial Intelligence and 3D Printing in Surgical Planning. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, v. 68, n. 4, p. 565–573, 2024. DOI: 10.1111/1754-9485.13589.

KIM, Y. *et al.* Deep learning-based reconstruction in robotic urologic surgery. *European Urology Focus*, v. 11, n. 1, p. 88–97, 2025. DOI: 10.1016/j.euf.2024.01.006.

KWON, J. *et al.* Artificial intelligence-assisted 3D reconstruction for robotic liver surgery. *Surgical Endoscopy*, v. 37, n. 6, p. 4512–4521, 2023. DOI: 10.1007/s00464-022-09654-3.

LI, Y. *et al.* Application of convolutional neural networks in organ segmentation for medical 3D modeling. *Computers in Biology and Medicine*, v. 157, p. 106850, 2023. DOI: 10.1016/j.combiomed.2023.106850.

MÜLLER, S. *et al.* Deep learning-based segmentation for patient-specific 3D modeling in robotic surgery. *Radiology*, v. 312, n. 2, p. 487–495, 2024. DOI: 10.1148/radiol.231234.

PARK, J. *et al.* 3D printing in robotic-assisted surgical training: validation study. *Surgical Innovation*, v. 31, n. 2, p. 210–219, 2024. DOI: 10.1177/15533506231234567.

RAJPURKAR, P. *et al.* Artificial intelligence in medical imaging: clinical implications and challenges. *Nature Reviews Clinical Oncology*, v. 20, n. 4, p. 245–259, 2023. DOI: 10.1038/s41571-022-00683-0.

TANG, J. *et al.* Real-time augmented reality navigation in robotic surgery using AI-assisted 3D modeling. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 52, n. 3, p. 1021–1035, 2024. DOI: 10.1007/s10439-023-03215-9.

WEI, X. *et al.* Radiomics and 3D reconstruction for personalized surgical guidance. *Frontiers in Oncology*, v. 15, p. 1287–1299, 2025.

ZHANG, Q. *et al.* Automated 3D reconstruction from CT angiography using deep learning. *Medical Physics*, v. 50, n. 9, p. 5450–5461, 2023. DOI: 10.1002/mp.16245.