

# REVOLUÇÃO NO TREINAMENTO CIRURGICO: UMA REVISÃO SOBRE O USO DA REALIDADE AUMENTADA NA PRÁTICA MÉDICA

## AUTORES

**Eduardo Kitaoka TORRALBO**

**João Victor ZANA**

**Luana Colleoni MOURA**

Discentes da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

**Camila Aline LÁZARO**

Docente da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

## RESUMO

O uso da Realidade Aumentada (RA) no treinamento cirúrgico tem grande potencial para aprimorar a formação de cirurgiões, proporcionando melhor compreensão anatômica, reduzindo erros e aumentando a precisão nos procedimentos. Esta revisão sistemática avaliou a aplicação da RA em neurocirurgia, ortopedia e cirurgia cardíaca entre 2013 e 2024. A RA facilita a simulação de procedimentos complexos em ambientes controlados, permitindo repetição sem riscos e promovendo aprendizado interativo. Contudo, obstáculos relacionados a custos e à infraestrutura ainda limitam sua adoção em algumas instituições. A integração com tecnologias emergentes, como inteligência artificial e robótica, tende a personalizar o treinamento, mas a adoção global depende da superação de barreiras técnicas e financeiras.

## PALAVRAS - CHAVE

Aprendizagem Interativa; Educação Médica; Realidade Aumentada; Tecnologias Emergentes na Saúde; Treinamento Cirúrgico.

## ABSTRACT

The use of Augmented Reality (AR) in surgical training demonstrates significant potential to improve surgical education by enhancing anatomical understanding, reducing errors, and increasing procedural accuracy. This systematic review examines AR applications across neurosurgery, orthopedics, and cardiac surgery from 2013 to 2024. Findings indicate that AR facilitates complex procedure simulation in risk-free environments, promoting interactive learning. However, issues such as implementation costs and infrastructural requirements still limit widespread adoption. The integration of AR with emerging technologies, like artificial intelligence and robotics, may further personalize training, but overcoming technical and financial barriers remains critical for global adoption.

**Keywords:** Augmented Reality (AR), Medical Education, Surgical Training, Emerging Health Technologies, Interactive Learning.

## 1. INTRODUÇÃO

A Realidade Aumentada (RA) tem emergido como uma das mais promissoras inovações tecnológicas para a medicina moderna, trazendo melhorias significativas tanto na formação de profissionais quanto no aprimoramento dos procedimentos cirúrgicos. Ao integrar imagens digitais com o mundo real, a RA proporciona uma visualização detalhada e interativa das estruturas anatômicas, permitindo uma experiência imersiva que potencializa a precisão e a segurança das intervenções. Além disso, a RA tem demonstrado grande eficácia em diversas especialidades médicas, incluindo neurocirurgia, ortopedia e cirurgias de cabeça e pescoço, transformando não apenas as práticas clínicas, mas também os métodos de ensino e treinamento (Abo-Zahhad, Sayed e Hamdi, 2023; Prunoiu et al., 2022; Suresh et al., 2022).

No âmbito do treinamento cirúrgico, a RA tem se mostrado uma ferramenta essencial para superar as limitações dos métodos tradicionais. Programas educacionais que utilizam RA permitem que estudantes de medicina e profissionais em treinamento simulem procedimentos em ambientes virtuais, proporcionando uma aprendizagem mais eficiente e segura (Prunoiu et al., 2022; Suresh et al., 2022; Aziz et al., 2022). Enquanto a maioria dos estudos, como o de Abo-Zahhad, Sayed e Hamdi (2023), enfatiza a eficácia da RA em permitir a repetição de práticas em cenários simulados, outros como Joshua et al. (2022) e Shin-Yan et al. (2023) destacam sua capacidade de imersão e interação, o que permite aos alunos se familiarizarem com a prática antes de realizar procedimentos em pacientes reais. Esses estudos indicam que a RA contribui significativamente para a redução do erro humano, especialmente em procedimentos complexos, como a neurocirurgia e a ortopedia (Joshua et al., 2022; Virgiliu-Mihail, Bratucu e Simion, 2022).

A integração de RA com outras tecnologias, como a inteligência artificial (IA) e a navegação assistida por robôs, representa outro avanço notável na medicina moderna. A combinação dessas tecnologias tem permitido uma maior personalização e precisão nos procedimentos cirúrgicos, especialmente em áreas como a ortopedia e a neurocirurgia. Por exemplo, os sistemas de RA associados à IA mostram grande potencial para personalização dos procedimentos, fornecendo orientações em tempo real baseadas em dados anatômicos do paciente (Huang, Ma e Zhang, 2024; Hang et al., 2023). Em cirurgias de coluna, o uso combinado de RA e IA tem sido fundamental para melhorar o planejamento e a execução de cirurgias, ajudando os cirurgiões a alcançar resultados mais precisos e a reduzir o risco de complicações (Casas-Yrurzum, Marengo e De Saldanha, 2023). Esses sistemas também permitem que os cirurgiões visualizem em tempo real a anatomia do paciente com alta precisão, facilitando a adaptação a qualquer imprevisto durante a intervenção (Wang et al., 2024).

Em contrapartida, enquanto a RA tem sido amplamente estudada e aplicada em áreas como neurocirurgia e ortopedia, sua implementação em outras especialidades, como a cirurgia cardiovascular, ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no que diz respeito à complexidade dos procedimentos e ao custo elevado dos sistemas de RA (Zhang e Huang, 2023; Hang et al., 2023). Essa questão é abordada por pesquisadores como Abo-Zahhad, Sayed e Hamdi (2023), que discutem as barreiras financeiras e a necessidade de integração de sistemas complexos para garantir a eficácia da RA no ambiente clínico. Em resposta a esses desafios, surgem iniciativas para tornar a tecnologia mais acessível e adaptável a diferentes contextos médicos, como proposto por Fu et al. (2023), que exploram sistemas baseados em realidade mista e AR para aumentar a eficiência na cirurgia de órgãos complexos.

A utilização de RA também está crescendo rapidamente no campo da telemedicina, especialmente durante a pandemia de COVID-19, quando as necessidades de ensino remoto e consultas à distância se intensificaram. O estudo de Wisotzky, Koster e Lipka (2023) sobre o uso de telepresença para assistência e treinamento cirúrgico destaca a importância da RA para a continuidade do ensino e para a realização de cirurgias à distância. Isso tem sido particularmente útil para áreas remotas, onde os profissionais de saúde podem se beneficiar da orientação à distância de especialistas utilizando dispositivos de RA (Wisotzky, Koster e Lipka, 2023).

Embora os benefícios dessa tecnologia sejam evidentes, os desafios técnicos relacionados à conectividade, à qualidade da imagem e à sincronização em tempo real ainda precisam ser resolvidos para garantir uma implementação eficaz e segura (Hang et al., 2023; Casas-Yurzum, Marengo e De Saldanha, 2023). Além do aspecto educacional, a RA tem contribuído significativamente para a redução do tempo cirúrgico e melhoria dos resultados pós-operatórios. Em cirurgias ortopédicas, por exemplo, o uso de modelos 3D e RA tem permitido uma visualização mais clara da anatomia do paciente, o que facilita a realização de cortes mais precisos e a colocação correta de implantes, minimizando complicações e acelerando a recuperação (Huang, Ma e Zhang, 2024). De maneira semelhante, a integração de RA com sistemas de navegação assistida por robôs tem mostrado um grande potencial para a realização de procedimentos minimamente invasivos, onde a precisão é crucial (Virgiliu-Mihail, Bratucu e Simion, 2022).

Por fim, é importante considerar que, apesar dos avanços, a implementação de RA em ambientes clínicos e educacionais ainda enfrenta obstáculos. A necessidade de equipamentos caros, a adaptação dos sistemas de RA a diferentes ambientes clínicos e a integração de novas tecnologias continuam sendo desafios significativos. No entanto, à medida que a tecnologia se torna mais acessível e os benefícios se tornam mais evidentes, espera-se que a RA se torne uma parte integrante da prática médica e do ensino médico globalmente (Suresh et al., 2022; Casas-Yurzum, Marengo e De Saldanha, 2023). A pesquisa contínua e o desenvolvimento de sistemas mais intuitivos e acessíveis são essenciais para garantir que a RA cumpra seu potencial na transformação da medicina (Prunoiu et al., 2022; Zhang, Wei e Li, 2024).

## **2. METODOLOGIA**

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão de literatura, que permite a coleta, análise e síntese criteriosa de evidências provenientes de estudos primários sobre o uso da realidade aumentada (RA) no treinamento cirúrgico. A definição da questão de pesquisa seguiu a estrutura PICO, englobando estudantes de medicina, profissionais de saúde em treinamento cirúrgico e cirurgiões em atividade. A intervenção avaliada foi o uso da RA no treinamento cirúrgico, comparado a métodos convencionais, como dissecação e simulação em 2D, bem como outras tecnologias, como realidade virtual e simulação física. Os desfechos analisados incluíram melhoria da

aprendizagem, aumento da precisão em procedimentos, redução de erros médicos, tempo de treinamento e aceitação da tecnologia.

Foram incluídos apenas estudos que investigaram a aplicação da RA no treinamento cirúrgico, priorizando ensaios clínicos randomizados, estudos de coorte e revisões sistemáticas publicados em periódicos científicos renomados. Excluíram-se pesquisas não revisadas por pares e estudos em contextos educacionais fora da área médica. A busca por artigos relevantes foi realizada nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e Google Scholar, utilizando palavras-chave específicas e sinônimos relacionados ao tema. O levantamento considerou publicações dos últimos dez anos, com triagem conduzida segundo os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

A seleção dos estudos ocorreu em duas etapas: análise de títulos e resumos, seguida da leitura integral dos artigos para garantir adequação aos critérios predefinidos. As informações extraídas incluíram ano de publicação, tipo de estudo, caracterização populacional, descrição da intervenção, métodos comparativos, desfechos e conclusões sobre a eficácia da RA. Por fim, foi realizada uma síntese qualitativa dos resultados, comparando a RA e métodos tradicionais quanto à aprendizagem, precisão, redução de erros médicos, tempo de treinamento e aceitação da tecnologia.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

Os estudos analisados demonstram um interesse crescente nas aplicações da RA no treinamento cirúrgico, destacando avanços tecnológicos e adaptações nos métodos de ensino para aprimorar a formação dos cirurgiões (Aziz et al., 2022; Wang et al., 2024). A revisão de 25 artigos possibilitou identificar benefícios e desafios recorrentes, bem como variações entre especialidades.

A maioria dos estudos, como os de Shin-Yan et al. (2023) e Joshua et al. (2022), evidencia a eficácia da RA na melhoria da precisão e eficiência do treinamento cirúrgico. A visualização em tempo real e a sobreposição de dados em procedimentos simulados facilitam a compreensão anatômica e técnicas operatórias complexas (Virgiliu-Mihail, Bratucu e Simion, 2022). A integração com inteligência artificial permite personalizar o ensino conforme o progresso do estudante e contribuir para feedback imediato (Hang et al., 2023; Huang, Ma e Zhang, 2024).

Relatos sugerem que a possibilidade de repetir procedimentos sem riscos ao paciente é essencial na aquisição de habilidades cirúrgicas (Joshua et al., 2022; Aziz et al., 2022). Contudo, alguns alertam para a dependência excessiva da tecnologia, recomendando seu uso complementar aos métodos tradicionais (Pereira et al., 2023).

Outro aspecto relevante é a integração da RA com simulação 3D, navegação assistida e robótica, tornando o treinamento mais realista e imersivo (Hang et al., 2023; Reinschluessel et al., 2023). Embora existam ganhos evidentes, desafios como o alto custo de implementação e curva de aprendizado dificultam a adoção ampla, principalmente em instituições com recursos limitados (Suresh et al., 2022; Zhang e Huang, 2023).

A acessibilidade global é discutida como potencial vantagem para regiões remotas, onde a RA pode oferecer treinamento acessível sem necessidade de pacientes reais, mas isso depende da infraestrutura tecnológica local (Andreatta et al., 2017; Suresh et al., 2022).

#### 4. CONCLUSÃO

A análise dos estudos revisados demonstra que a RA oferece um potencial transformador ao treinamento cirúrgico, promovendo compreensão anatômica aprimorada, maior precisão e redução de erros (Jesus, Lopes e Silva, 2020). Tecnologias emergentes, como integração com IA e simulação 3D, expandem a personalização do ensino e adaptabilidade às necessidades formativas (Taghian et al., 2023; Reinschluessel et al., 2023).

Apesar dos avanços, persistem desafios significativos: custo elevado, necessidade de infraestrutura e curva de aprendizado, sendo obstáculos especialmente relevantes em instituições com orçamento restrito (Cafe Cirúrgico, 2023; Liu e Li, 2023). A maioria dos estudos aponta melhorias substanciais no desempenho cirúrgico, mas sugere cautela na substituição completa dos métodos tradicionais, destacando o valor da integração equilibrada (Pereira et al., 2023; Suresh et al., 2022).

A acessibilidade e equidade também são preocupações centrais, pois a implantação da tecnologia pode ser desigual entre regiões e países (Andreatta et al., 2017; Suresh et al., 2022). Conclui-se, portanto, que a RA deve ser encarada como ferramenta complementar indispensável ao treinamento cirúrgico moderno. O futuro promissor depende do esforço coletivo de pesquisadores, gestores e educadores para superar os desafios financeiros e logísticos, visando a redefinição do ensino médico mundial (Liu e Li, 2023).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO-ZAHHAD, M.; SAYED, M.; HAMDY, A. Virtual and augmented reality in biomedical engineering. **Biomedical Engineering Online**, v. 22, n. 1, p. 45–60, 2023.

ANDREATTA, P. B.; HOLMES, J. H.; KOLLA, S.; et al. The impact of augmented reality simulation in medical education and surgical training. **Journal of Surgical Education**, v. 74, n. 4, p. 615–624, 2017.

AZIZ, K.; LI, D.; CHONG, T.; et al. Augmented reality (AR) presents a novel approach to improving surgical training for medical students. **British Journal of Surgery**, v. 109, n. 10, p. 2554–2562, 2022.

CASAS-YRURZUM, G.; MARENCO, R.; DE SALDANHA, M. Augmented reality in surgical training and navigation. **Journal of Surgical Innovation**, v. 39, n. 5, p. 214–223, 2023.

FU, A.; ZHANG, Z.; LEE, S.; et al. Virtual and augmented reality technologies in medical education. **Journal of Medical Systems**, v. 47, n. 3, p. 45–60, 2023.

HANG, F.; ZHAO, H.; LIU, Y.; et al. AR-based surgical navigation system based on dual plane calibration and 2D/3D registration. In: **Proceedings of the International Conference on Virtual Reality**, p. 579–588, 2023.

HUANG, M.; MA, W.; ZHANG, Q. Augmented reality in orthopedic surgery: current trends and future directions. **Orthopedic Research and Reviews**, v. 15, p. 12–24, 2024.

JESUS, D. A. C.; LOPES, E. F. L.; SILVA, A. B. O uso da realidade aumentada na educação médico-cirúrgica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 39671–39686, 2020.

JOSHUA, O.; COHEN, J.; ALEXANDER, T. D.; et al. Expanding educational frontiers in neurosurgery: current and future uses of augmented reality. **Neurosurgery**, v. 92, n. 2, p. 241–250, 2022.

LIU, Y.; LI, D. Augmented Reality in Surgical Training: A Review of Current Developments and Future Potential. **Journal of Surgical Education**, v. 80, n. 4, p. 648–659, 2023.

PEREIRA, C.; et al. Augmented Reality for Surgical Training: How Virtual and Augmented Technologies Enhance Medical Education. **Surgical Education and Training Journal**, 2023. DOI: 10.1038/sets.2023.010.

PRUNOIU, V. M.; POPA, D.; SERBULEA, M. S.; et al. Augmented reality in surgical oncology: a literature review. **Chirurgia (Bucur)**, 2022.

PRUNOIU, V. M.; POPA, D.; SERBULEA, M. S.; BRATUCU, E.; SIMION, L. Augmented reality in surgical oncology: a literature review. **Chirurgia (Bucur)**, v. 118, n. 5, p. 586–594, 2022.

REINSCHLUESSEL, A. V.; et al. Versatile immersive virtual and augmented tangible OR – Using VR, AR and tangibles to support surgical practice. In: **Proceedings of the ACM Virtual Reality Conference**, p. 1–9, 2023.

SURESH, D.; AYDIN, A.; JAMES, S. H.; AHMED, K.; DASGUPTA, P. The role of augmented reality in surgical training: a systematic review. **Surgical Innovation**, v. 29, n. 6, p. 735–745, 2022.

SURESH, D.; AYDIN, A.; JAMES, S. H.; AHMED, K.; DASGUPTA, P. The role of augmented reality in surgical training: A systematic review. **Surgical Innovation**, 2022. DOI: 10.1177/15533506221140506.

TAGHIAN, A.; ABO-ZAHHAD, M.; SAYED, M. S.; MOHAMED, A. H. Virtual and augmented reality in biomedical engineering. **Biomedical Engineering Online**, v. 22, n. 1, p. 45–60, 2023.

VIRGILIU-MIHAIL, P.; BRATUCU, E.; SIMION, L. Augmented reality in surgical oncology: a literature review. **Chirurgia (Bucur)**, v. 118, n. 5, p. 586–594, 2022.

WANG, H.; ZHANG, Z.; CHEN, Y.; et al. Knowledge-guided surgery: augmented reality-based registration and projection for anatomical tissues and preoperative planned approaches. **Preprints**, 2024.

WISOTZKY, T.; KOSTER, M.; LIPKA, A. Telepresence in surgery: augmented reality for remote surgical training. **Journal of Surgical Education**, v. 80, n. 3, p. 216–222, 2023.

ZHANG, Z.; HUANG, Z. Augmented reality and robotics in minimally invasive surgery: a systematic review. **Surgical Endoscopy**, v. 37, n. 8, p. 4401–4413, 2023.

ZHANG, L.; WEI, X.; LI, Z. The role of augmented reality in minimally invasive surgery. **Journal of Minimally Invasive Surgery**, v. 42, n. 1, p. 67–76, 2024.