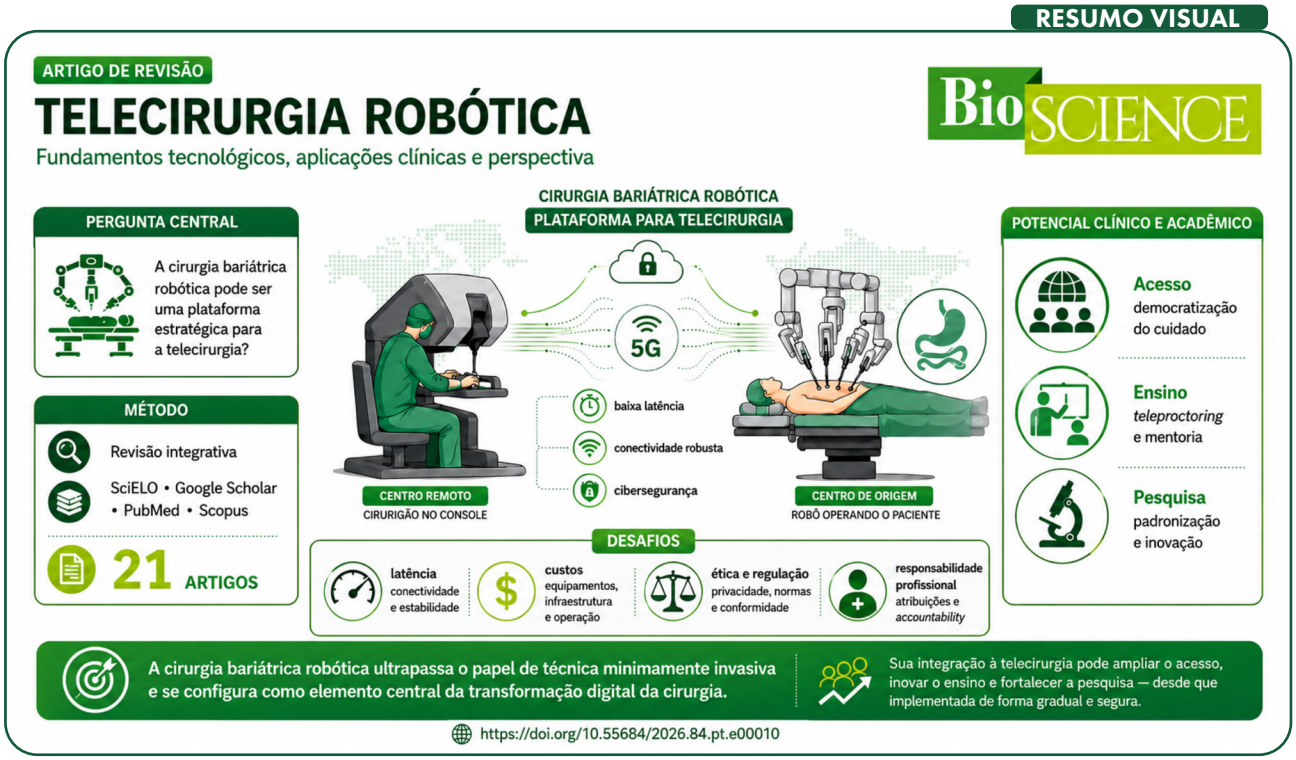
BioSCIENCE Artigo de Revisão
2026;84:e00010
https://doi.org/10.55684/2026.84.pt.e00010

Telecirurgia robótica: fundamentos tecnológicos, aplicações clínicas e perspectiva

Marcelo de Paula Loureiro[1], Gualter Lisboa Ramalho[2], Augusto de Almeida Junior[2], Mariano Palermo[1,3], Leandro Totti Cavazzola[1], Paulo Afonso Nunes Nassif[1]

RESUMO VISUAL



Afiliação dos autores:
[1]Scolla Ensino, Campo Largo, PR, Brasil;
[2]Hospital Alberto Urquiza Wanderley, João Pessoa, PB, Brasil;
[3]Hospital Nacional Prof. Alejandro Posadas; Buenos Aires, Argentina

Contribuição dos autores
Marcelo de Paula Loureiro – Administração do projeto, Conceitualização
Gualter Lisboa Ramalho - Conceitualização
Augusto de Almeida Junior – Conceituação, Análise formal
Mariano Palermo - Redação (esboço original)
Leandro Totti Cavazzola - Metodologia
Marcelo de Paula Loureiro - Redação (revisão e edição)
Paulo Afonso Nunes Nassif – Administração do projeto, Escrita – revisão e edição

Correspondência
Paulo Afonso Nunes Nassif
Email: paulonassif@terra.com.br

Mensagem Central
A introdução progressiva de tecnologias de alta complexidade na prática cirúrgica tem promovido transformações significativas nos paradigmas atuais de assistência ao paciente, formação médica e pesquisa translacional. Nesse contexto, a cirurgia robótica destaca-se não como simples evolução da laparoscopia convencional, mas como arquitetura tecnológica integrada, que reúne precisão mecânica, controle digital avançado, comunicação de dados em tempo real e sistemas de imagem de alta definição.

Perspectiva
Mais do que representar abordagem minimamente invasiva, a cirurgia bariátrica assistida por robôs insere-se como um componente estratégico da digitalização dos procedimentos cirúrgicos. A incorporação futura desses sistemas a plataformas de telecirurgia tem potencial para ampliar o acesso aos cuidados especializados, impulsionar novos modelos educacionais e consolidar linhas de pesquisa em cirurgia, desde que sua adoção ocorra de maneira progressiva, criteriosa e baseada em segurança.

Conflito de interesse: Nenhum
Financiamento: Nenhum
Recebido em: 05/02/2026
Aceito em: 14/03/2026
Data de publicação: 10/04/2026
Editor Associado: Selma Maria Bezerra Jerônimo
Disponibilidade de dados: Dados disponíveis junto ao autor correspondente, mediante solicitação fundamentada.

Como citar este artigo
Loureiro MP, Ramalho GL, de Almeida Junior A, Palermo M, Cavazzola LT, Nassif PAN. Telecirurgia robótica: fundamentos tecnológicos, aplicações clínicas e perspectiva. BioSCIENCE. 2026;84:e00010. https://doi.org/10.55684/2026.84.pt.e00010

CC BY

RESUMO

Introdução: A cirurgia bariátrica robótica consolidou-se como abordagem segura e eficaz para o tratamento da obesidade grave. Em paralelo, avanços recentes em conectividade e em infraestrutura digital têm reacendido o interesse pela telecirurgia como estratégia para ampliar o acesso à cirurgia especializada, especialmente em cenários de desigualdade na distribuição de centros de excelência.

Objetivo: Discutir a cirurgia bariátrica robótica como plataforma estratégica para o desenvolvimento da telecirurgia, com ênfase em suas implicações para assistência, ensino médico e pesquisa acadêmica.

Método: Revisão dos fundamentos da cirurgia bariátrica robótica, a evolução conceitual da telecirurgia e o potencial da cirurgia bariátrica como modelo aplicável às intervenções remotas, discutindo os impactos na formação e supervisão de equipes cirúrgicas, os principais desafios técnicos além das questões éticas, legais e regulatórias envolvidas na implementação.

Resultado: Considerando-se somente artigos que tivessem maior relação ao tema, foi realizada a leitura da íntegra dos textos e incluíram-se 21 artigos.

Conclusão: A cirurgia bariátrica robótica ultrapassa o papel de técnica minimamente invasiva e se configura como elemento central na transformação digital da cirurgia. Sua integração progressiva à telecirurgia pode contribuir para a democratização do acesso, inovação no ensino e fortalecimento da pesquisa cirúrgica, desde que implementada de forma gradual e segura.

PALAVRAS-CHAVE: Telecirurgia. Cirurgia robótica. Robótica médica. Inovação em saúde.

INTRODUÇÃO

A incorporação contínua de tecnologias avançadas na prática cirúrgica remodelou profundamente os modelos contemporâneos de cuidado ao paciente, educação médica e pesquisa translacional. Entre essas inovações, a cirurgia robótica emergiu, não apenas como um refinamento incremental da laparoscopia, mas como plataforma tecnológica capaz de integrar mecânica de precisão, sistemas digitais de controle, transmissão de dados em tempo real e imagens avançadas.[1-5]

Na cirurgia bariátrica e metabólica, procedimentos assistidos por robô têm demonstrado progressivamente segurança, viabilidade e reprodutibilidade, especialmente em cenários tecnicamente exigentes, como cirurgia revisional, pacientes superobesos e suturas de maior complexidade.[2,6-9] No entanto, a relevância das plataformas robóticas vai além da ergonomia operacional ou destreza.

Embora a telecirurgia tenha sido conceitualmente introduzida há mais de duas décadas, sua ampla adoção clínica foi historicamente limitada por restrições relacionadas à latência da comunicação, confiabilidade da rede, cibersegurança e custos de sistemas.[1,10] Avanços recentes em conectividade de alta velocidade, redes de baixa latência, protocolos de criptografia e confiabilidade de sistemas robóticos redefiniram a viabilidade das aplicações cirúrgicas remotas.[4,11] Esses avanços posicionam a cirurgia bariátrica robótica como um campo particularmente relevante para a telecirurgia dentro de quadro moderno e realista.[3,4,9,12]

Dada a carga global da obesidade, a distribuição geográfica desigual de cirurgiões bariátricos especializados e a natureza padronizada de muitos procedimentos bariátricos, reafirma-se que a cirurgia bariátrica robótica representa modelo atraente para explorar a integração da telecirurgia na prática clínica, no treinamento acadêmico e na pesquisa.[3,7-9,12]

Este artigo teve como objetivo discutir a cirurgia bariátrica robótica como plataforma estratégica para a telecirurgia, enfatizando suas implicações para a educação médica multidisciplinar e a investigação científica.

MÉTODO

Revisão integrativa feita colhendo informações para leitura e análise a partir de pesquisa online em plataformas virtuais. Inicialmente foi realizada busca por descritores DECs relacionados ao tema, utilizando os seguintes unitermos: "telecirurgia, cirurgia robótica, robótica médica, inovação em saúde" com busca AND ou OR, considerando o título e/ou resumo; os escolhidos foram lidos na íntegra. O material para leitura e análise foi selecionado das plataformas SciELO, Google Scholar, Pubmed e Scopus. Após, considerando-se somente os que tinham maior relação ao tema, foi realizada a leitura da íntegra dos textos (Tabela).

RESULTADOS

A busca bibliográfica permitiu a identificação de estudos com diferentes enfoques, abrangendo desde o marco histórico da telecirurgia até aplicações contemporâneas da robótica em cirurgia bariátrica, treinamento cirúrgico, conectividade avançada e desafios ético-regulatórios. Após leitura dos títulos, resumos e textos completos, foram selecionados 21 artigos com maior aderência ao objetivo proposto nesta revisão (Tabela).

DISCUSSÃO

Cirurgia bariátrica robótica: além de uma técnica cirúrgica

A cirurgia bariátrica robótica evoluiu de abordagem alternativa minimamente invasiva para modalidade cirúrgica madura com atributos técnicos e educacionais distintos. Embora os princípios centrais dos procedimentos bariátricos como o bypass gástrico Roux-en-Y e a gastrectomia vertical permaneçam inalterados, os sistemas robóticos oferecem visualização aprimorada, instrumentação articulada, filtragem de tremores e ergonomia aprimorada do cirurgião.[2,6,7]

Do ponto de vista acadêmico, a importância da cirurgia bariátrica robótica está em seu potencial de padronização. Plataformas robóticas permitem a execução consistente de etapas operacionais críticas, facilitando a reprodutibilidade entre instituições e

CC BY

TABELA — Metadados preferenciais da revisão realizada[1-21]

Autor (ano)	Título do artigo	Objetivos	Conclusão
Marescaux et al. (2001)[1]	Transatlantic robot-assisted telesurgery	Avaliar a viabilidade técnica e a segurança da telecirurgia robótica a longa distância, incluindo modelo experimental transoceânico e aplicação clínica em colecistectomia laparoscópica assistida por robô.	O estudo demonstrou que a telecirurgia robótica transatlântica era tecnicamente viável e segura em condições controladas, com latência total de cerca de 155 ms, abrindo caminho para ampliar o acesso remoto à expertise cirúrgica.
Hung et al. (2019)[2]	Deep learning on automated performance metrics and clinical features to predict urinary continence recovery after robot-assisted radical prostatectomy	Desenvolver um modelo de deep learning capaz de prever a recuperação da continência urinária após prostatectomia radical assistida por robô, utilizando métricas automatizadas de desempenho cirúrgico e características clinicopatológicas, além de avaliar a relação entre desempenho técnico do cirurgião e desfechos funcionais.	O modelo DeepSurv conseguiu prever a recuperação da continência urinária após RARP, e os cirurgiões com métricas automatizadas de desempenho mais eficientes apresentaram melhores taxas de continência urinária aos 3 e 6 meses, reforçando a utilidade de métricas objetivas e inteligência artificial na avaliação da qualidade cirúrgica.
Dimou et al. (2021)[3]	Understanding the Current Role of Robotic-Assisted Bariatric Surgery	Identificar tendências temporais no uso da cirurgia bariátrica robótica entre 2015 e 2018 e analisar os fatores dos pacientes associados à escolha da abordagem robótica em gastrectomia vertical e bypass gástrico em Y-de-Roux.	A cirurgia bariátrica robótica aumentou no período estudado, porém ainda representava menos de 10% dos procedimentos. O uso da plataforma robótica esteve associado a alguns perfis clínicos específicos, mas os motivos dessa seleção ainda não estão totalmente esclarecidos, exigindo novos estudos para melhor definir suas indicações.
Mohan et al. (2021)[4]	Telesurgery and Robotics: An Improved and Efficient Era	Revisar os avanços atuais da telecirurgia e da cirurgia robótica, destacando benefícios, limitações e perspectivas futuras relacionadas à conectividade, latência, feedback háptico e novas tecnologias, como 5G e IoT.	A telecirurgia é uma estratégia promissora para ampliar o acesso cirúrgico com maior precisão, especialmente em áreas remotas, mas sua expansão ainda depende da redução da latência, do aprimoramento do feedback háptico, da segurança tecnológica, da redução de custos e do enfrentamento de questões legais e éticas.
Rosa et al. (2024)[5]	Impacto do treinamento em videocirurgia de médicos residentes de cirurgia geral em simulador de baixa fidelidade adaptado do programa de Fundaments of Laparoscopic Surgery (FLS)	Avaliar o impacto do treinamento teórico-prático em videocirurgia, com simulador de baixa fidelidade adaptado do FLS, sobre a aquisição de habilidades de residentes de cirurgia geral do primeiro e segundo ano, comparando o desempenho antes e após o treinamento e em relação a um grupo controle de cirurgiões experientes.	O treinamento promoveu melhora significativa do desempenho técnico dos residentes em ambos os grupos. Os residentes do primeiro ano, após o treinamento, atingiram desempenho semelhante ao desempenho inicial dos residentes do segundo ano, sugerindo que o treinamento sequenciado com simulador de baixa fidelidade pode acelerar a aquisição de habilidades em videocirurgia.
de Barros et al. (2023)[6]	Robotic versus laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass: a retrospective study in a single center	Comparar pacientes submetidos ao bypass gástrico em Y de Roux por via robótica versus laparoscópica, em um único centro e por um único cirurgião, analisando tempo cirúrgico, tempo de internação e complicações pós-operatórias.	O grupo operado por via robótica apresentou menor tempo cirúrgico e menor tempo de internação hospitalar, sem diferenças quanto a estenose, sangramento ou fístula, sugerindo que o bypass gástrico robótico é uma alternativa segura e potencialmente vantajosa em centros especializados.
Spurzem et al. (2024)[7]	Robotic bariatric surgery reduces morbidity for revisional gastric bypass when compared to laparoscopic: outcome of 8-year MBSAQIP analysis of over 40,000 cases	Avaliar a utilização da cirurgia robótica em cirurgia bariátrica revisional e comparar os desfechos perioperatórios em 30 dias entre abordagens laparoscópica e robótica, especialmente em gastrectomia vertical revisional e bypass gástrico em Y de Roux revisional, com base no banco MBSAQIP de 2015 a 2022.	A utilização da plataforma robótica aumentou progressivamente na cirurgia bariátrica revisional. Nos casos de bypass gástrico revisional, a abordagem robótica esteve associada a menor morbidade pós-operatória e menor tempo de internação quando comparada à laparoscópica, embora com maior tempo operatório, sugerindo benefício potencial da robótica em casos revisionais mais complexos.
Pastrana et al. (2020)[8]	Outcomes of robotic bariatric surgery in super-obese patients: first report based on MBSAQIP database	Comparar a segurança e os desfechos de curto prazo da cirurgia bariátrica robótica versus laparoscópica em pacientes superobesos, com base no banco MBSAQIP de 2015 a 2017.	Em pacientes superobesos, a abordagem robótica apresentou desfechos de 30 dias semelhantes aos da laparoscopia, sem benefício clínico claro em segurança ou complicações de curto prazo, embora ambas as técnicas tenham mostrado piores resultados nesse grupo quando comparado aos obesos não superobesos.
Guérios et al. (2021)[9]	Impacto da cirurgia bariátrica no perfil lipídico e glicêmico em pacientes obesos	Avaliar os impactos da cirurgia bariátrica sobre parâmetros antropométricos, metabólicos e bioquímicos de pacientes obesos, comparando dados do pré-operatório com 3 e 6 meses de pós-operatório.	A cirurgia bariátrica mostrou-se eficaz na redução de parâmetros antropométricos e metabólicos, com diminuição significativa de colesterol total, LDL, triglicerídeos, glicemia de jejum, hemoglobina glicada e insulina no pós-operatório.
Anvari et al. (2005)[10]	Establishment of the World's First Telerobotic Remote Surgical Service: For Provision of Advanced Laparoscopic Surgery in a Rural Community	Descrever a implantação do primeiro serviço hospitalar regular de cirurgia telerrobótica remota entre um hospital universitário e um hospital rural, avaliando sua viabilidade para oferta de cirurgia laparoscópica avançada e colaboração entre cirurgiões à distância.	O estudo demonstrou que a cirurgia telerrobótica remota pode ser incorporada à prática clínica de forma segura e eficaz, com boa colaboração entre os cirurgiões, ausência de complicações intraoperatórias maiores e potencial para ampliar o acesso de comunidades rurais a procedimentos laparoscópicos avançados.
Fan et al. (2023)[11]	Feasibility and Safety of Dual-console Telesurgery with the KangDuo Surgical Robot-01 System Using Fifth-generation and Wired Networks: An Animal Experiment and Clinical Study	Avaliar a viabilidade e a segurança da telecirurgia com console duplo utilizando o sistema KangDuo Surgical Robot-01, por meio de experimento animal e estudo clínico, com uso de redes 5G e cabeada.	A telecirurgia com console duplo mostrou-se viável e segura tanto no modelo animal quanto no estudo clínico, com latência aceitável, perda de pacotes inferior a 1% e ausência de complicações intraoperatórias importantes, sugerindo potencial aplicação clínica e educacional dessa tecnologia.
Veilleux et al. (2020)[12]	A Review of the Role of Robotics in Bariatric Surgery: Finding Our Future?	Revisar criticamente a literatura disponível sobre o uso da cirurgia robótica em procedimentos bariátricos, avaliando seu impacto sobre tempo operatório, desfechos clínicos, custo e possíveis aplicações em subgrupos específicos, como superobesos e cirurgias revisionais.	A maioria dos estudos sugere que a cirurgia bariátrica robótica aumenta tempo operatório e custo sem benefício generalizável claro nos desfechos. Ainda assim, pode ter papel promissor em casos mais complexos, como pacientes superobesos, procedimentos revisionais e futuras aplicações associadas ao amadurecimento tecnológico e à inteligência artificial.
Patel et al. (2024)[13]	Technical and ethical considerations in telesurgery	Analisar os principais aspectos técnicos, regulatórios e éticos envolvidos na implementação da telecirurgia, com foco em infraestrutura de rede, latência, segurança, privacidade de dados, responsabilidade profissional e relação médico-paciente.	A telecirurgia apresenta grande potencial para ampliar o acesso à expertise cirúrgica, mas sua adoção segura e em larga escala depende de conectividade robusta e de baixa latência, proteção cibernética, padronização técnica e aprimoramento dos marcos éticos e regulatórios.
Dohler et al. (2025)[14]	The crucial role of 5G, 6G, and fiber in robotic telesurgery	Analisar o papel das redes 5G, das futuras redes 6G e da infraestrutura em fibra óptica na viabilização da telecirurgia robótica, com foco em latência, confiabilidade, requisitos de transmissão, arquitetura de rede, segurança e aplicações em hospitais inteligentes.	O estudo conclui que a telecirurgia robótica depende de conectividade de altíssimo desempenho, e que a combinação entre 5G e backbone de fibra representa a solução mais adequada para garantir baixa latência, alta confiabilidade e escalabilidade. Além disso, aponta que 6G, inteligência artificial e hospitais inteligentes tendem a ampliar ainda mais a viabilidade e o alcance clínico da telecirurgia no futuro.
Motiwala et al. (2025)[15]	Telesurgery: current status and strategies for latency reduction	Revisar o estado atual da telecirurgia, com foco nos fatores relacionados à latência, seus impactos no desempenho cirúrgico e nas estratégias tecnológicas propostas para sua redução, incluindo 5G/6G, inteligência artificial, edge computing, haptic feedback e cibersegurança.	A latência permanece como uma das principais barreiras para a ampla adoção da telecirurgia, sendo ideal mantê-la abaixo de 200 ms. Avanços como redes 5G/6G, inteligência artificial, edge computing e aprimoramento do feedback háptico mostram potencial para reduzir esse problema, mas desafios éticos, legais, regulatórios e de segurança ainda precisam ser superados para viabilizar sua aplicação em larga escala.
de Paula Loureiro et al. (2025)[16]	Implementation of Robotic Telesurgery in Brazil: The First Experimental Remote Surgery Performed Between Two Brazilian Cities	Relatar a primeira telecirurgia realizada entre duas cidades brasileiras, avaliando a viabilidade técnica e a segurança de uma colecistectomia robótica remota em modelo suíno, com conexão por fibra óptica de alto desempenho e redundância em 5G entre Campo Largo e Cascavel.	O estudo demonstrou que a telecirurgia robótica entre duas cidades brasileiras foi tecnicamente viável e segura, com latência baixa, estabilidade de conexão e ausência de complicações técnico-cirúrgicas, reforçando o potencial dessa tecnologia para ampliar o acesso à cirurgia especializada em regiões distantes.
Carmo et al. (2023)[17]	Fístula tardia pós-sleeve gástrico	Relatar um caso de fístula gástrica tardia após gastrectomia vertical e discutir o diagnóstico e a condução terapêutica dessa complicação pós-operatória.	O tratamento conservador com abordagem endoscópica, incluindo dilatação da área de estreitamento, mostrou-se eficaz no controle da fístula tardia pós-sleeve, sugerindo ser uma alternativa adequada em casos selecionados, sem necessidade obrigatória de prótese ou reoperação.
Trute et al. (2022)[18]	Development of a Robotic Surgery Training System	Desenvolver e descrever um sistema de treinamento em cirurgia robótica de baixo custo, com possibilidade de uso local e remoto via internet, incorporando teleoperação, feedback háptico e visão 2D/3D, voltado ao treinamento cirúrgico e à pesquisa experimental.	O sistema proposto mostrou-se viável como plataforma acessível para treinamento em cirurgia robótica e pesquisa, permitindo teleoperação remota com latência aceitável em redes de boa qualidade, além de oferecer feedback visual e háptico. Os autores concluem que a plataforma tem potencial para ampliar o acesso ao treinamento robótico, embora ainda demande aprimoramentos técnicos futuros.
Saikali et al. (2025)[19]	Society of Robotic Surgery (SRS) special meeting in 2024: insights from the telesurgery consensus meeting	Apresentar os principais insights, propostas colaborativas e recomendações discutidos na reunião global da Society of Robotic Surgery sobre telecirurgia, com foco em requisitos técnicos, questões éticas, cibersegurança, regulamentação, treinamento e implementação segura dessa prática em escala global.	O encontro destacou que a expansão segura da telecirurgia depende de uma abordagem multidisciplinar, com padronização de treinamento e credenciamento, melhoria da conectividade hospitalar, estrutura regulatória específica e modelos de reembolso apropriados, reforçando que a consolidação da telecirurgia exige não apenas viabilidade técnica, mas também alinhamento ético, legal e institucional.
Frenkel (2023)[20]	Telesurgery's Evolution During the Robotic Surgery Renaissance and a Systematic Review of its Ethical Considerations	Revisar a evolução recente da telecirurgia no contexto do renascimento da cirurgia robótica, discutir suas tendências atuais de utilização e analisar sistematicamente as principais considerações éticas relacionadas à sua adoção.	A telecirurgia apresenta potencial para ampliar o acesso a cuidados cirúrgicos seguros, equitativos e de alta qualidade, porém sua integração depende do enfrentamento de barreiras éticas, legais, regulatórias, técnicas e institucionais, com participação ativa dos cirurgiões e das sociedades médicas na construção desse processo.
Saikali et al. (2024)[21]	Telesurgery: humanitarian and surgical benefits while navigating technologic and administrative challenges	Discutir os benefícios humanitários e cirúrgicos da telecirurgia, bem como analisar os principais desafios tecnológicos, administrativos, éticos, regulatórios e de segurança envolvidos em sua implementação.	A telecirurgia tem potencial para ampliar o acesso equitativo à cirurgia especializada e favorecer a disseminação de expertise cirúrgica, especialmente em áreas remotas. Contudo, sua adoção ampla e segura depende do enfrentamento de barreiras relacionadas à latência, conectividade, cibersegurança, regulamentação, consentimento informado e padronização institucional.

CC BY

operadores. Essa padronização é particularmente valiosa para ambientes de pesquisa e estudos multicêntricos.[2,7,8]

Além disso, sistemas robóticos geram naturalmente dados digitais relacionados ao movimento dos instrumentos, tempo operacional, aplicação de forças e padrões de fluxo de trabalho. Esses fluxos de dados oferecem oportunidade única para avaliação objetiva do desempenho cirúrgico, aquisição de habilidades e curvas de aprendizado em área de relevância crescente na pesquisa em educação cirúrgica.[3]

Assim, a cirurgia bariátrica robótica deve ser vista não apenas como técnica minimamente invasiva, mas como tecnologia habilitadora para transformações mais amplas na prestação de cuidados cirúrgicos.[3,4]

Telecirurgia: conceito, evolução e cenário atual

Telecirurgia é definida como a realização de procedimentos cirúrgicos nos quais cirurgião e paciente estão geograficamente separados, conectados por sistemas robóticos e redes avançadas de telecomunicações.[1,10] O marco histórico da telecirurgia é conhecido como "Operação Lindbergh" (2001), com colecistectomia realizada entre Nova York, USA e Estrasburgo. França.

Por muitos anos, a telecirurgia permaneceu em grande parte experimental, limitada por alta latência, largura de banda limitada e preocupações com segurança, confiabilidade e responsabilidade legal.[4,10]

Análises contemporâneas reforçam que essas limitações não são apenas tecnológicas, mas também éticas e organizacionais. Revisões recentes destacam que a superação dessas barreiras depende, não apenas do avanço das redes de comunicação, mas também da adoção de estruturas regulatórias claras, protocolos de segurança cibernética e modelos éticos adaptados às especificidades da telecirurgia.[13]

Nos últimos anos, entretanto, a rápida expansão da infraestrutura de fibra óptica, das redes móveis de quinta geração (5G) e dos protocolos seguros de transmissão de dados alteraram substancialmente esse cenário.[4,11]

Dohler et al. em 2025[14] destacaram que a introdução de redes 5G e 6G na telecirurgia não apenas melhora a latência e a confiabilidade, mas também oferece plataforma robusta para os avanços necessários em telecirurgia. As redes 5G, em particular, oferecem latência ultrabaixa e alta taxa de transferência de dados, essenciais para modalidades críticas como feedback cinestésico, audiovisual e tátil, fundamentais para a realização de procedimentos cirúrgicos remotos precisos.[14]

De acordo com Motiwala et al. em 2025[15], a redução da latência é um dos principais desafios que limita a viabilidade da telecirurgia em larga escala. O artigo revisa estratégias emergentes para minimizar esse atraso, como o uso de redes 5G, compensação de latência orientada por inteligência artificial (IA), e otimização da infraestrutura de rede. Tais abordagens são vistas como fundamentais para garantir maior precisão, destreza e segurança dos pacientes durante procedimentos teleoperados.

Paradigmas telecirúrgicos modernos agora abrangem espectro de interações remotas, incluindo: 1) teleproctoring, em que um cirurgião especialista fornece orientação em tempo real a partir de local remoto; 2) telementoria, envolvendo suporte educacional estruturado durante procedimentos presenciais; 3) teleoperação, na qual o cirurgião controla diretamente o sistema robótico a partir de local distante.[4,12]

Entre eles, a televigilância e a telementoria já demonstraram aplicabilidade prática na cirurgia bariátrica, especialmente para treinamento, credenciamento e disseminação de expertise. A teleoperação totalmente remota, embora tecnicamente viável, permanece limitada a ambientes altamente controlados e programas-piloto.[1,11]

Estudos experimentais recentes demonstram que esse cenário começa a se tornar factível também em países emergentes. Em 2025, foi realizada a primeira telecirurgia robótica experimental no Brasil, conectando duas cidades brasileiras separadas por aproximadamente 600 km, utilizando infraestrutura dedicada de fibra óptica com redundância em rede móvel. O procedimento foi executado com sucesso, apresentando latência ultrabaixa e estabilidade de comunicação durante todo o ato operatório, reforçando a viabilidade técnica da teleoperação robótica em ambientes altamente controlados e sob protocolos rigorosos de segurança.[16]

Do ponto de vista acadêmico, a telecirurgia representa convergência de cirurgia, engenharia, informática e ética.[4] Sua integração na cirurgia bariátrica oferece oportunidade única para estudar não apenas resultados clínicos[17], mas também eficiência educacional, resiliência do sistema e novos modelos de colaboração cirúrgica.[2,3,12] Assim, a cirurgia bariátrica robótica oferece estrutura clínica ideal para avançar a pesquisa telecirúrgica e definir as melhores práticas para a implementação futura.[2,4,11]

A cirurgia bariátrica robótica como modelo estratégico para a telecirurgia

A cirurgia bariátrica reúne conjunto de características que a tornam particularmente adequada para servir como modelo estratégico na discussão e no desenvolvimento da telecirurgia. Trata-se de área com elevada prevalência de indicação, impacto significativo em saúde pública e distribuição geográfica desigual de profissionais altamente especializados.[2,7,8] Em muitos países, centros de excelência concentram-se em grandes áreas urbanas, enquanto regiões periféricas ou remotas enfrentam limitações estruturais e humanas para oferecer tratamento cirúrgico adequado à obesidade grave.[2,4]

A cirurgia robótica potencializa esse cenário ao oferecer estabilidade de movimentos, visão tridimensional de alta definição e instrumentos articulados, que permitem maior precisão em ambientes controlados digitalmente.[2,7] Esses atributos são fundamentais para qualquer aplicação de procedimento cirúrgico à distância, pois reduzem a dependência de habilidades manuais finas diretamente mediadas pelo contato físico com o paciente.[1,4]

Nesse contexto, a cirurgia bariátrica robótica pode ser compreendida como campo de prova clínico e acadêmico para a telecirurgia.[2-4]

A realização recente de um procedimento robótico teleoperado em modelo experimental no Brasil reforça esse conceito de campo de prova clínico e acadêmico. Embora não realizado no contexto bariátrico, o estudo validou aspectos fundamentais para a telecirurgia, como estabilidade de rede, latência segura, redundância de comunicação e controle remoto preciso do sistema robótico, elementos indispensáveis para futuras aplicações clínicas mais complexas.[16]

Impactos no ensino médico e na pesquisa acadêmica

A incorporação da cirurgia bariátrica robótica no contexto da telecirurgia tem implicações diretas e profundas no ensino médico e na pesquisa científica.[3,4,12] Do ponto de vista educacional, a possibilidade de supervisão e mentoria à distância redefine os modelos tradicionais de formação cirúrgica, permitindo que especialistas experientes acompanhem, orientem e avaliem procedimentos realizados em centros distintos, sem a necessidade de deslocamento físico.[4,12]

Essa abordagem tem especial relevância para programas de residência médica, pós-graduação e treinamento avançado, pois amplia o acesso a expertise especializada e reduz desigualdades regionais na formação cirúrgica.[2,4,12] Além disso, a cirurgia robótica possibilita o registro sistemático e padronizado de dados operatórios, criando ambiente favorável à avaliação objetiva de desempenho, aquisição de habilidades e curva de aprendizado.[3]

O desenvolvimento recente de sistemas de treinamento em cirurgia robótica com foco em ampla acessibilidade reforça esse potencial educacional e científico. Em 2025, foi descrita a criação de uma plataforma de treinamento robótico de baixo custo, projetada para uso local e remoto, incorporando teleoperação, ambiente de gêmeo digital (*digital twin*) e monitoramento em tempo real. O sistema demonstrou alta precisão no controle dos instrumentos, manutenção rigorosa do centro remoto de movimento e latência muito baixa, configurando-se como ferramenta robusta para treinamento cirúrgico, pesquisa experimental e validação de modelos educacionais em ambientes acadêmicos.[18]

No campo da pesquisa, a robótica associada à telecirurgia abre novas frentes de investigação translacional.[3,4] Dados gerados pelos sistemas robóticos, como tempo de execução, trajetória dos instrumentos e padrões de movimento, podem ser utilizados para estudos multicêntricos, validação de modelos educacionais e desenvolvimento de ferramentas baseadas em inteligência artificial aplicadas à cirurgia.[3]

Por fim, a discussão sobre cirurgia bariátrica robótica e telecirurgia também estimula reflexões éticas, regulatórias e pedagógicas, fundamentais para a formação de médicos pesquisadores conscientes das responsabilidades associadas ao uso de tecnologias avançadas na prática clínica.[1,4,10]

Nesse contexto, iniciativas recentes de sociedades científicas internacionais têm reforçado a centralidade do ensino estruturado e da certificação profissional na evolução da telecirurgia. O consenso da Society of Robotic Surgery destaca a necessidade de programas de treinamento multidimensionais, critérios claros de proficiência e processos de credenciamento específicos para a prática telecirúrgica, priorizando desfechos clínicos, segurança do paciente e responsabilidade ética.[19]

Limitações atuais e desafios ético-regulatórios

Apesar do avanço significativo da cirurgia robótica e do renovado interesse pela telecirurgia, diversas limitações ainda restringem sua ampla adoção clínica, especialmente no contexto da cirurgia bariátrica.[2,7,8] O custo elevado dos sistemas robóticos, aliado à necessidade de hospitais de referência com infraestrutura tecnológica adequada, permanece como uma das principais barreiras, particularmente em sistemas de saúde com recursos limitados.[2,4]

Frenkel et al. em 2023[20] discutiram a evolução da telecirurgia e os obstáculos éticos e regulatórios que surgem à medida que a tecnologia avança. Eles observaram que, além das limitações tecnológicas, a adoção de telesurgery depende de quadro normativo robusto, incluindo regulamentações claras sobre consentimento informado, responsabilidade profissional e a criação de infraestrutura legal que apoie a prática segura em diferentes contextos globais. A falta de diretrizes claras pode dificultar o crescimento e a adoção universal da telecirurgia.

Em 2024, Saikali et al.[21] destacaram que, além dos desafios tecnológicos relacionados à latência e à conectividade, a telecirurgia enfrenta obstáculos administrativos e regulatórios significativos. A implementação global dela exige colaboração entre governos, instituições acadêmicas e sociedades médicas para superar questões como treinamento, certificação de cirurgiões e a criação de regulamentações internacionais claras. A resolução desses desafios é crucial para garantir que os benefícios da telecirurgia, como acesso global à cirurgia especializada, possam ser amplamente acessados sem comprometer a segurança do paciente.

Do ponto de vista técnico, a telecirurgia exige conectividade altamente estável, com latência mínima e redundância de sistemas, para garantir segurança operatória.[1,4,11] Interrupções de sinal, falhas de transmissão de imagem ou atrasos na resposta dos comandos representam riscos inaceitáveis em procedimentos cirúrgicos complexos.[1,10] Embora redes de alta velocidade tenham reduzido essas limitações, sua disponibilidade ainda é heterogênea.[4,11]

Revisões recentes têm aprofundado de forma sistemática esses desafios técnicos e éticos associados à telecirurgia. Aspectos como latência aceitável, qualidade de serviço da rede, segurança cibernética, proteção de dados sensíveis e confiabilidade dos sistemas robóticos são apontados como requisitos críticos para a prática telecirúrgica segura. Além disso, questões éticas relacionadas ao consentimento informado ampliado, à responsabilidade profissional compartilhada e à governança institucional são destacadas como elementos centrais para a implementação clínica responsável da telecirurgia.[13]

Os desafios éticos e regulatórios são igualmente

CC BY

relevantes. Questões relacionadas à responsabilidade profissional, consentimento informado, licenciamento médico interregional ou internacional e proteção de dados do paciente permanecem em debate.[4,10]

Estudos recentes da Society of Robotic Surgery (SRS) abordam esses pontos críticos e propõem um conjunto de diretrizes e recomendações para superar os desafios éticos e regulatórios na telecirurgia. O artigo de Patel et al. em 2024[13] destaca, em particular, a necessidade de governança compartilhada entre cirurgiões, instituições e autoridades reguladoras para garantir a implementação segura da telecirurgia em diferentes contextos globais. A definição clara de responsabilidades, o estabelecimento de padrões de treinamento e certificação, e a proteção dos dados do paciente são apontados como pilares para a evolução sustentável dessa prática.

Em cenários de telecirurgia torna-se fundamental definir claramente a responsabilidade entre o cirurgião remoto, a equipe local e a instituição de saúde envolvida.[1,12]

Essas preocupações foram recentemente sistematizadas em um consenso internacional promovido pela Society of Robotic Surgery (SRS), que reuniu especialistas globais em cirurgia, engenharia, telecomunicações, ética e políticas públicas. O encontro resultou em um consenso do tipo Delphi, estabelecendo recomendações sobre requisitos tecnológicos, segurança cibernética, treinamento, credenciamento profissional, aspectos legais e estruturas éticas necessárias para a implementação segura e escalável da telecirurgia. O documento enfatiza a necessidade de diretrizes padronizadas e de governança multidisciplinar para viabilizar a adoção responsável da telecirurgia em diferentes sistemas de saúde.[19]

No âmbito acadêmico, essas limitações reforçam a necessidade de abordagens graduais, priorizando inicialmente modelos híbridos, como teleproctoring e telementoria que oferecem ganhos educacionais e assistenciais sem expor pacientes a riscos desnecessários.[4,12] A consolidação de marcos regulatórios claros será determinante para a evolução segura da telecirurgia bariátrica.[4,10]

Perspectivas

O futuro para a cirurgia bariátrica robótica no contexto da telecirurgia é promissor.[2,4,11] A tendência de expansão do mercado de plataformas robóticas, com maior concorrência e diversificação tecnológica, pode contribuir para a redução de custos e ampliação do acesso.[2,7,8] Paralelamente, o avanço contínuo das redes de comunicação, com menor latência e maior confiabilidade, aproxima a telecirurgia de cenário clínico mais factível.[4,11] No campo do ensino, espera-se que modelos de treinamento híbridos, combinando simulação, robótica e mentoria remota, tornem-se progressivamente mais integrados aos programas de residência e pós-graduação.[3,4,12] A telecirurgia pode desempenhar papel central na democratização do acesso à formação especializada, especialmente em países com grandes desigualdades regionais.[4,12] Iniciativas recentes apontam para a viabilidade prática desse modelo. O desenvolvimento de plataformas de treinamento robótico integrando teleoperação, simulação avançada e gêmeos digitais tem permitido ampliar o acesso à formação em cirurgia robótica, reduzir custos institucionais e criar ambientes controlados para pesquisa e validação tecnológica. Esses sistemas representam um passo concreto na consolidação de ecossistemas educacionais híbridos em cirurgia robótica e telecirurgia.[18]

Do ponto de vista da pesquisa, a integração entre cirurgia robótica, análise de dados e inteligência artificial abre novas possibilidades para estudos de desempenho cirúrgico, padronização técnica e avaliação de desfechos.[3,4] A cirurgia bariátrica, por sua alta prevalência e impacto metabólico, tende a ocupar posição de destaque nesse processo de inovação translacional.[2,7,8]

Assim, mais do que uma ferramenta tecnológica isolada, a cirurgia bariátrica robótica deve ser compreendida como parte de ecossistema digital em evolução, capaz de transformar a forma como a cirurgia é praticada, ensinada e investigada.[3,4,11]

CONCLUSÃO

Embora desafios técnicos, econômicos e regulatórios ainda limitem a adoção ampla da telecirurgia, o cenário atual indica transição progressiva para modelos mais integrados de assistência, ensino e pesquisa. Nesse contexto, a cirurgia bariátrica robótica emerge como campo privilegiado para testar, validar e consolidar essas transformações. Ela ultrapassa o papel de técnica minimamente invasiva e se configura como elemento central na transformação digital da cirurgia. Sua integração progressiva à telecirurgia pode contribuir para a democratização do acesso, inovação no ensino e fortalecimento da pesquisa cirúrgica, desde que implementada de forma gradual e segura.

REFERÊNCIAS

1. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. Nature. 2001;413(6854):379–80.
2. Hung AJ, Chen J, Ghodoussipour S, Oh PJ, Liu Z, Nguyen J, Purushotham S, Gill IS, Liu Y. A deep-learning model using automated performance metrics and clinical features to predict urinary continence recovery after robot-assisted radical prostatectomy. BJU Int. 2019;124(3):487-495. doi: 10.1111/bju.14735
3. Dimou FM, Adhikari D, Mehta HB, Riall TS. Understanding the current role of robotic-assisted bariatric surgery. Obes Surg. 2021;31(4):1730–6.
4. Mohan A, Wara U, Shaikh MTA, Rahman RM, Zaidi ZA. Telesurgery and Robotics: An Improved and Efficient Era. Cureus. 2021 Mar 26;13(3):e14124. http://doi.org/10.7759/cureus.14124
5. Rosa LWCG, Collaço IA, Malafaia O, Nassif PAN, Czeczko NG, Kubrusly LF. impacto do treinamento em videocirurgia de médicos residentes de cirurgia geral em simulador de baixa fidelidade adaptado do programa de fundaments of laparoscopic surgery (FLS). 2024. SciELO Preprints. https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.8521
6. de Barros F, Fonseca ABM, Kiss ASB, Braga CF, da-Silva FR, Regonati YH. Robotic versus laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass: a retrospective study in a single center. Arq Bras Cir Dig. 2023;36:e1756. https://doi.org/10.1590/0102-672020230038e1756
7. Spurzem GJ, Broderick RC, Kunkel EK, Hollandsworth HM, Sandler BJ, Jacobsen GR, et al. Robotic bariatric surgery reduces morbidity for revisional gastric bypass when compared to laparoscopic: outcome of 8-year MBSAQIP analysis of over 40,000 cases. Surg Endosc.

2024;38(11):6294-304. doi: 10.1007/s00464-024-11192-0

8. Pastrana M, Stoltzfus J, Claros L, El Chaar M. Outcomes of robotic bariatric surgery in super-obese patients: first report based on MBSAQIP database. Surg Obes Relat Dis. 2020;16(1):71-9. http://doi.org/10.1016/j.soard.2019.10.009

9. Guérios JG, Biagini GLK, Ribeiro SP, Sato RMS, Nassif PAN. Impacto da cirurgia bariátrica no perfil lipídico e glicêmico em pacientes obesos. Rev. Méd. Paraná, Curitiba. 2021;79(Supl. 1):64-66. https://doi.org/10.55684/79.2.1685

10. Anvari M, McKinley C, Stein H. Establishment of the world's first telerobotic remote surgical service: for provision of advanced laparoscopic surgery in a rural community. Ann Surg. 2005;241(3):460–4. https://doi.org/10.1097/01.sla.0000154456.69815.ee

11. Fan S, Zhang P, Jiang Z, et al. Feasibility and Safety of Dual-console Telesurgery with the KangDuo Surgical Robot-01 System Using Fifth-generation and Wired Networks: An Animal Experiment and Clinical Study. Eur Urol Open Sci. 2023;49:6-9. https://doi.org/10.1016/j.euros.2022.12.010

12. Veilleux E, Ponce J, Lutfi R. A Review of the Role of Robotics in Bariatric Surgery. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2020;30(1):36-39. https://doi.org/10.1089/lap.2019.0419

13. Patel V, Saikali S, Moschovas MC, Patel E, Satava R, Dasgupta P, et al. Technical and ethical considerations in telesurgery. J Robot Surg. 2024;18(1):40. https://doi.org/10.1007/s11701-023-01797-3

14. Dohler M, Saikali S, Gamal A, Moschovas M, Patel V. The crucial role of 5G, 6G, and fiber in robotic telesurgery. J Robot Surg. 2024;19(1):4. https://doi.org/10.1007/s11701-024-02164-6

15. Motiwala ZY, Desai A, Bisht R, Lathkar S, Misra S, Carbin DD. Telesurgery: current status and strategies for latency reduction. J Robot Surg. 2025;19(1):153–9. https://doi.org/10.1007/s11701-025-02333-1

16. de Paula Loureiro M, Salvalaggio P, Palermo M, Costa Casagrande TA, Chikude K, Ribeiro R, et al. Implementation of robotic telesurgery in Brazil: the first experimental remote surgery performed between two Brazilian cities. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2025;35(11):884-891. https://doi.org/10.1177/10926429251377012

17. Carmo ABC, Pimenta OS, Ribas-Filho JM, Cuenca RM, Torres OJM, Andreollo NA. Fístula tardia pós-sleeve gástrico. BioSCIENCE 2023;81(2):137-9. https://doi.org/10.55684/81.2.27

18. Trute RJ, Zapico CS, Christou A, Layeghi D, Craig S, Erden MS. Development of a Robotic Surgery Training System. Front Robot AI. 2022;8:773830. http://doi.org/10.3389/frobt.2021.773830

19. Saikali S, Moschovas M, Albala D, Leveillee R, Patel V. Society of Robotic Surgery (SRS) special meeting in 2024: insights from the telesurgery consensus meeting. J Robot Surg. 2025;19:331. https://doi.org/10.1007/s11701-025-02514-y

20. Frenkel CH, Moschovas M, Saikali S, Patel V. Telesurgery's evolution during the robotic surgery renaissance and a systematic review of its ethical considerations. Surg Innov. 2023;30(5):595-600. https://doi.org/10.1177/15533506231169073

21. Saikali S, Moschovas M, Gamal A, Reddy S, Rogers T, Patel V. Telesurgery: humanitarian and surgical benefits while navigating technologic and administrative challenges. J Robot Surg. 2024;18(1):393. https://doi.org/10.1007/s11701-024-02156-6