

Análise de custo-benefício e acessibilidade da tecnologia robótica em diversos sistemas de saúde Cost-benefit analysis and accessibility of robotic technology in various health systems Análisis coste-beneficio y accesibilidad de la tecnología robótica en diversos sistemas sanitarios

Letícia de Souza Formiga¹, Lucas Landgraf Torres², Gabriella Gomes Silva³, Wendel Silva Queiroz⁴,
Adriane Barbosa de Sousa⁵, Laila Velozo Costa⁶, Maria Vitória Bugallo Toth⁷ e Gustavo Pinheiro
Sampaio Feitosa⁸

¹Graduada pelo Centro Universitário Facisa, Campina Grande, Paraíba. ORCID: 0009-0000-4320-1839. E-mail: leticia.formig@gmail.com;

²Graduado pelo Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, Mato Grosso. ORCID: 0009-0004-2872-5035. E-mail: landgraflucas3@gmail.com;

³Graduanda pelo Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, Mato Grosso. ORCID: 0009-0002-5038-4543. E-mail: gabriella.gomes@unemat.br;

⁴Residente em Ginecologia e Obstetrícia pelo Centro Universitário Integrado de Saúde Amaury de Medeiros, Recife, Pernambuco. ORCID: 0009-0006-2226-8966. E-mail: wendelsqueiroz@gmail.com;

⁵Graduada pelo Centro Universitário de Adamantina, Adamantina, São Paulo. ORCID: 0009-0009-9471-893X. E-mail: adrianebsousa@outlook.com;

⁶Graduada pela Faculdade Santa Maria, Cajazeiras, Paraíba. ORCID: 0000-0002-7643-285X. E-mail: la-velozocosta@hotmail.com;

⁷Graduada pelo Centro Universitário Serra dos Órgãos, Teresópolis, Rio de Janeiro. ORCID: 0009-0005-2998-7034. E-mail: vitoriabugallo@gmail.com;

⁸Graduado pela Faculdade Estácio, Juazeiro do Norte, Ceará. ORCID: 0009-0001-9253-7125. E-mail: gustavopinheirosf@hotmail.com.

Resumo - O presente artigo aborda a tecnologia robótica na saúde, uma inovação que tem revolucionado a prática médica, proporcionando avanços em precisão, eficiência e qualidade dos cuidados. O estudo analisa a relação custo-benefício da implementação de sistemas robóticos em diversos contextos, identificando os principais problemas e oportunidades associados à sua adoção. Neste contexto, o objetivo é avaliar se os benefícios clínicos e operacionais justificam os elevados custos iniciais, além de examinar a acessibilidade dessa tecnologia em diferentes sistemas de saúde. A pesquisa identifica barreiras à adoção da robótica, especialmente em países em desenvolvimento, onde os altos custos de aquisição, manutenção e treinamento, além de infraestrutura inadequada e falta de pessoal qualificado, representam obstáculos consideráveis. Em contrapartida, os países desenvolvidos demonstram maior facilidade na integração da robótica, beneficiando-se de sistemas de saúde mais completos e políticas de incentivo mais efetivas. Os resultados indicam que, apesar dos custos elevados, a tecnologia robótica oferece benefícios substanciais, incluindo maior precisão cirúrgica, redução do tempo de recuperação dos pacientes e diminuição das complicações pós-operatórias. Estes benefícios traduzem-se em melhorias operacionais e econômicas a longo prazo, justificando os investimentos iniciais. Em adição, políticas públicas e incentivos governamentais são precisos para promover a adoção equitativa da robótica, especialmente em regiões com recursos limitados.

Palavras-Chave: Inovação tecnológica; Precisão cirúrgica; Eficiência operacional; Cuidados de saúde; Sistemas de saúde.

Abstract - This article looks at robotic technology in healthcare, an innovation that has revolutionized medical practice, providing advances in precision, efficiency and quality of care. The study analyzes the cost-benefit ratio of implementing robotic systems in various contexts, identifying the main problems and opportunities associated with their adoption. In this context, the aim is to assess whether the clinical and operational benefits justify the high initial costs, as well as examining the accessibility of this technology in different healthcare systems. The research identifies barriers to the adoption of robotics, especially in developing countries, where high acquisition, maintenance and training costs, as well as inadequate infrastructure and a lack of qualified personnel, represent considerable obstacles. In contrast, developed countries find it easier to integrate robotics, benefiting from more complete health systems and more effective incentive policies. The results indicate that, despite the high costs, robotic technology offers substantial benefits, including greater surgical precision, reduced recovery time for patients and fewer post-operative complications. These benefits translate into long-term operational and economic improvements, justifying the initial investments. In addition, public policies and government



incentives are needed to promote the equitable adoption of robotics, especially in regions with limited resources.

Key words: Technological innovation; Surgical precision; Operational efficiency; Health care; Health systems.

Resumen - Este artículo aborda la tecnología robótica en la atención sanitaria, una innovación que ha revolucionado la práctica médica, aportando avances en precisión, eficiencia y calidad de la atención. El estudio analiza la relación coste-beneficio de implementar sistemas robóticos en diferentes contextos, identificando los principales problemas y oportunidades asociados a su adopción. En este contexto, el objetivo es evaluar si los beneficios clínicos y operativos justifican los altos costos iniciales, además de examinar la accesibilidad de esta tecnología en diferentes sistemas de salud. La investigación identifica barreras para la adopción de la robótica, especialmente en los países en desarrollo, donde los altos costos de adquisición, mantenimiento y capacitación, así como una infraestructura inadecuada y la falta de personal calificado, representan obstáculos considerables. Por otro lado, los países desarrollados demuestran una mayor facilidad para integrar la robótica, beneficiándose de sistemas de salud más completos y políticas de incentivos más efectivas. Los resultados indican que, a pesar de los altos costos, la tecnología robótica ofrece beneficios sustanciales, incluida una mayor precisión quirúrgica, un menor tiempo de recuperación del paciente y una disminución de las complicaciones posoperatorias. Estos beneficios se traducen en mejoras operativas y económicas a largo plazo, justificando las inversiones iniciales. Además, se necesitan políticas públicas e incentivos gubernamentales para promover la adopción equitativa de la robótica, especialmente en regiones con recursos limitados.

Palabras clave: Innovación tecnológica; Precisión quirúrgica; Eficiencia operativa; Asistencia sanitaria; Sistemas sanitarios.

INTRODUÇÃO

A tecnologia robótica tem revolucionado diversos setores, incluindo a área da saúde, onde suas aplicações têm crescido nos últimos anos. A incorporação de robôs em procedimentos médicos, como cirurgias, diagnósticos e tratamentos, promete melhorar a precisão, reduzir os riscos operacionais e aumentar a eficiência dos cuidados prestados.

Contudo, apesar dos avanços, a adoção generalizada dessa tecnologia enfrenta alguns problemas, principalmente em relação aos custos e à acessibilidade. Enquanto países desenvolvidos têm conseguido integrar a robótica de forma mais ampla em seus sistemas de saúde, nações em desenvolvimento ainda encontram barreiras substanciais financeiras e estruturais, que limitam o uso desses recursos avançados.

A análise de custo-benefício da tecnologia robótica em saúde é importante para entender seu verdadeiro impacto econômico e clínico. Embora a implementação inicial possa ser dispendiosa, os benefícios a longo prazo, como a redução do tempo de recuperação dos pacientes e a diminuição das complicações pós-operatórias, podem justificar os investimentos.

Porém, os sistemas de saúde variam amplamente em suas capacidades financeiras e estruturais, o que leva a uma disparidade na acessibilidade e na adoção dessa tecnologia. Também, fatores como políticas governamentais, incentivos financeiros e infraestrutura tecnológica corroboram na disseminação dessas inovações.

Outro aspecto é a acessibilidade da tecnologia robótica nos sistemas de saúde globais, visto que em muitos países a distribuição desigual de recursos e a falta de infraestrutura adequada impedem a implementação efetiva dessas tecnologias. Mesmo em nações com economias pujantes, a acessibilidade pode ser restrita a centros médicos de ponta, deixando uma parcela da população sem acesso aos avanços médicos proporcionados pela robótica.

Diante desse panorama, este estudo propõe-se a

realizar uma análise da relação custo-benefício da tecnologia robótica em diferentes sistemas de saúde, bem como a avaliar a acessibilidade dessa tecnologia. Os objetivos deste artigo incluem identificar os principais fatores que influenciam os custos e os benefícios associados ao uso de robôs na medicina, comparar a adoção da tecnologia em países desenvolvidos e em desenvolvimento e propor estratégias para aumentar a acessibilidade e a equidade na distribuição dessas inovações tecnológicas.

A justificativa para a realização deste estudo reside na necessidade de entender como a tecnologia robótica pode ser integrada de maneira equitativa nos sistemas de saúde globalmente. Com o envelhecimento da população e o aumento das doenças crônicas, a demanda por cuidados de saúde eficientes e de alta qualidade cresce continuamente. A robótica, ao oferecer soluções inovadoras, tem o potencial de transformar o atendimento médico, mas é importante que essa transformação seja acessível a todos, independentemente de sua localização geográfica ou condição econômica.

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo adotará uma metodologia bibliográfica, focando na revisão sistemática da literatura existente sobre a aplicação de tecnologia robótica na saúde, com especial atenção às análises de custo-benefício e acessibilidade.

Inicialmente, será realizada uma busca extensiva em bases de dados acadêmicas renomadas, como PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar. Palavras-chave como "tecnologia robótica na saúde", "custo-benefício da robótica médica", "acessibilidade da robótica em sistemas de saúde" e "disparidades na adoção de tecnologias de saúde" serão utilizadas para identificar artigos relevantes. A seleção dos artigos será baseada em critérios de inclusão que abrangem publicações dos últimos 15 anos, artigos revisados por pares e estudos que apresentem dados empíricos ou revisões teóricas sobre o tema.



A seguir, os artigos identificados serão submetidos a uma triagem para garantir sua relevância e qualidade, a qual incluirá a leitura dos títulos e resumos, seguida pela leitura completa dos textos que atendam aos critérios de inclusão. Durante esta etapa, serão excluídos estudos duplicados, artigos com metodologia fraca ou que não tratem diretamente dos temas de interesse deste estudo.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A tecnologia robótica na área da saúde tem se mostrado uma das inovações mais expressivas das últimas décadas, trazendo melhorias consideráveis tanto em termos de precisão dos procedimentos quanto na eficiência do atendimento aos pacientes. A definição de tecnologia robótica em saúde refere-se ao uso de sistemas automatizados e robôs projetados para auxiliar e, em alguns casos, substituir a intervenção humana em diversos processos médicos e hospitalares. Esses sistemas incluem desde robôs cirúrgicos altamente sofisticados até dispositivos automatizados para a entrega de medicamentos e assistência no cuidado dos pacientes (Joseph et al., 2018).

Um dos tipos mais conhecidos de tecnologia robótica em saúde é o robô cirúrgico. Esses dispositivos são utilizados para realizar procedimentos minimamente invasivos, onde pequenas incisões são feitas no corpo do paciente, e instrumentos cirúrgicos miniaturizados são inseridos através dessas aberturas. O sistema da Vinci é um exemplo notável de robô cirúrgico, permitindo ao cirurgião controlar os instrumentos com precisão milimétrica, utilizando um console de controle que proporciona uma visão tridimensional e ampliada do campo cirúrgico. Essa tecnologia aumenta a precisão das cirurgias e reduz o tempo de recuperação dos pacientes e diminui o risco de complicações pós-operatórias (Cresswell; Cunningham-Burley; Sheikh, 2018).

Além dos robôs cirúrgicos, a robótica em saúde abrange uma variedade de dispositivos para reabilitação. Exoesqueletos robóticos, por exemplo, são utilizados para ajudar pacientes com mobilidade reduzida a recuperar movimentos e força muscular. Esses dispositivos são especialmente úteis para pacientes que sofreram acidentes vasculares cerebrais ou lesões na medula espinhal, proporcionando suporte e resistência durante sessões de fisioterapia. Os exoesqueletos podem ser ajustados para diferentes níveis de assistência, permitindo uma progressão gradual e personalizada no tratamento de reabilitação (Khan; Siddique; Lee, 2020).

Outro tipo de tecnologia robótica em saúde é representado pelos sistemas de telepresença. Esses robôs permitem que médicos e especialistas realizem consultas e procedimentos à distância, utilizando uma combinação de robótica e comunicação digital. Em áreas remotas ou subdesenvolvidas, onde o acesso a cuidados médicos especializados é limitado, os robôs de telepresença oferecem uma solução viável, permitindo que médicos em centros urbanos atendam pacientes em localidades distantes. Esta tecnologia é relevante em situações de emergência, onde a rápida intervenção de um especialista pode ser imprescindível para salvar vidas (Sone et al., 2019).

A robótica também tem sido integrada na administração de medicamentos e gerenciamento de farmácias hospitalares. Robôs de dispensação automática são utilizados para preparar e distribuir medicamentos, garantindo precisão na dosagem e reduzindo erros humanos. Esses sistemas são capazes de armazenar grandes quantidades de medicamentos e, mediante prescrição médica, dispensar as doses corretas de maneira rápida e eficiente. Outrossim, esses robôs podem operar 24 horas por dia, garantindo que os pacientes recebam seus medicamentos sem atrasos, mesmo fora do horário convencional de funcionamento das farmácias (Tavakoli; Carriere; Torabi, 2020).

Na área de diagnóstico, a robótica tem contribuído com sistemas avançados de imagem e análise. Robôs equipados com câmeras de alta resolução e sensores especializados são utilizados para realizar exames endoscópicos e colonoscópicos, proporcionando imagens do interior do corpo humano.

Esses dispositivos permitem uma detecção precoce de anomalias e doenças, aumentando as chances de um tratamento bem-sucedido. Em adição, a integração de inteligência artificial com a robótica diagnóstica permite uma análise mais precisa e rápida dos dados coletados, auxiliando os médicos na tomada de decisões informadas (OÑA et al., 2019).

Os avanços na robótica também têm impactado a área de assistência ao paciente. Robôs de serviço são empregados em hospitais para tarefas como transporte de materiais, limpeza e até mesmo interação com pacientes. Esses robôs ajudam a aliviar a carga de trabalho do pessoal hospitalar, permitindo que os profissionais de saúde se concentrem mais no atendimento direto aos pacientes. Robôs assistentes, projetados para ajudar pacientes com necessidades especiais ou idosos, são outra aplicação importante. Esses robôs podem auxiliar em tarefas diárias, como levantar-se da cama, tomar medicamentos e realizar exercícios físicos, promovendo uma maior autonomia e qualidade de vida para os pacientes (Wehde, 2019).

A evolução da tecnologia robótica na medicina é um testemunho do progresso notável que a ciência e a engenharia têm alcançado ao longo das décadas. A robótica médica, que hoje corrobora em diversos procedimentos clínicos, teve suas raízes na segunda metade do século XX, quando as primeiras máquinas automatizadas começaram a ser desenvolvidas para fins industriais e, eventualmente, adaptadas para o ambiente médico (Rosen, 2019).

O advento dos primeiros robôs industriais na década de 1960, como o Unimate, marcou o início de uma era de automação que inspiraria futuras inovações em outras áreas, incluindo a medicina. Nos anos 1980, a robótica começou a encontrar aplicações na área médica com a introdução de sistemas como o PUMA 560, que foi utilizado para realizar uma biópsia cerebral guiada por tomografia computadorizada. Este marco inicial demonstrou a viabilidade do uso de robôs em procedimentos médicos, estabelecendo as bases para o desenvolvimento subsequente de tecnologias mais avançadas (Boch et al., 2023).

A década de 1990 foi um período de avanço para a robótica médica, com o surgimento dos primeiros sistemas



robóticos cirúrgicos. Um dos desenvolvimentos mais notáveis foi o robô AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), que foi aprovado pela FDA em 1994. Este sistema permitia o controle preciso da câmera endoscópica durante cirurgias minimamente invasivas, melhorando a visualização para os cirurgiões e aumentando a precisão dos procedimentos. A introdução do AESOP foi seguida pelo lançamento de sistemas mais complexos e multifuncionais, como o robô cirúrgico da Vinci, que revolucionou a cirurgia robótica (Maibaum et al., 2022).

O sistema da Vinci, introduzido no final dos anos 1990, é um dos mais emblemáticos exemplos de tecnologia robótica aplicada à medicina. Este sistema permite que os cirurgiões realizem procedimentos minimamente invasivos com uma precisão sem precedentes, utilizando um console de controle remoto para manipular instrumentos robóticos miniaturizados. A tecnologia da Vinci combina visão tridimensional, ampliada e controlada pelo cirurgião, com braços robóticos que oferecem um grau de liberdade e destreza impossíveis de serem alcançados pela mão humana sozinha. A sua aplicação se expandiu rapidamente para várias especialidades cirúrgicas, incluindo urologia, ginecologia, cirurgia geral e cardiologia, estabelecendo novos padrões para a prática cirúrgica (Riek, 2017).

Ao longo das duas últimas décadas, as aplicações clínicas da robótica na medicina continuaram a se diversificar e se sofisticar. Na área de diagnóstico, os robôs têm sido utilizados para realizar exames precisos e minimamente invasivos. Por exemplo, os sistemas de colonoscopia robótica permitem uma navegação mais precisa e menos desconfortável através do cólon, melhorando a detecção de pólipos e outras anomalias. Robôs equipados com tecnologia de imagem avançada, como a ressonância magnética e a tomografia computadorizada, têm aprimorado a capacidade de diagnóstico, permitindo uma visualização das estruturas internas do corpo humano sem a necessidade de procedimentos invasivos (Tavakoli; Carriere; Torabi, 2020).

A robótica também atua na reabilitação médica, pois, exoesqueletos robóticos são utilizados para ajudar pacientes com deficiências motoras a recuperar a mobilidade e a força muscular. Esses dispositivos, que podem ser ajustados para fornecer diferentes níveis de assistência, são úteis para pacientes que sofreram lesões na medula espinhal ou acidentes vasculares cerebrais. Ao fornecer suporte durante os movimentos e feedback em tempo real, os exoesqueletos ajudam a otimizar as sessões de fisioterapia, promovendo uma recuperação mais rápida (Joseph et al., 2018).

Outro avanço é o uso de robôs em telemedicina e telepresença. Esses robôs permitem que médicos especialistas forneçam consultas e até realizem procedimentos remotamente, utilizando uma combinação de robótica e tecnologias de comunicação digital. Isso é importante em áreas remotas ou subdesenvolvidas, onde o acesso a cuidados médicos especializados é limitado. Os robôs de telepresença permitem que médicos em centros urbanos atendam pacientes em localidades distantes, oferecendo um nível de atendimento que seria impossível de outra forma.

Também, a robótica tem sido integrada em sistemas de administração de medicamentos e gestão hospitalar. Robôs de dispensação automática são capazes de preparar e distribuir medicamentos com alta precisão, reduzindo erros humanos e melhorando a eficiência operacional dos hospitais. Esses sistemas garantem que os pacientes recebam suas doses corretas de medicamentos de maneira oportuna, contribuindo para a melhoria geral da qualidade dos cuidados (ROSEN, 2019).

ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO

A análise de custo-benefício é uma ferramenta para a avaliação da viabilidade econômica de novas tecnologias, incluindo a tecnologia robótica na saúde. Este tipo de análise permite identificar se os benefícios clínicos e operacionais proporcionados pela tecnologia justificam os custos associados à sua implementação e operação. A metodologia de avaliação de custos é um componente crítico desta análise, envolvendo a identificação, quantificação e comparação de todos os custos diretos e indiretos relacionados ao uso da tecnologia robótica (Ahmed et al., 2012).

Os custos diretos incluem a aquisição dos sistemas robóticos, a manutenção, o treinamento de pessoal e os insumos necessários para o funcionamento dos robôs. Já os custos indiretos abrangem fatores como a perda de produtividade durante o período de adaptação à nova tecnologia e possíveis despesas associadas à infraestrutura necessária para suportar a robótica (Simianu et al., 2020).

A metodologia de avaliação de custos geralmente começa com a identificação dos custos iniciais de aquisição dos sistemas robóticos. Estes custos podem variar dependendo da complexidade e das funcionalidades do robô. Igualmente, é necessário considerar os custos recorrentes de manutenção e atualização dos sistemas, que garantem o funcionamento contínuo e eficiente dos robôs. O treinamento do pessoal médico e técnico é outro componente essencial, pois a operação dos sistemas robóticos requer habilidades específicas que podem não estar presentes no quadro atual de funcionários (Swank et al., 2009).

Os benefícios clínicos e operacionais proporcionados pela tecnologia robótica são variados e muitas vezes justificam os investimentos necessários para sua implementação. Clinicamente, a robótica tem demonstrado melhorar a precisão dos procedimentos cirúrgicos, reduzir o tempo de recuperação dos pacientes e minimizar as complicações pós-operatórias (Riek, 2017).

Por exemplo, a utilização de robôs cirúrgicos permite realizar procedimentos minimamente invasivos, que são menos traumáticos para os pacientes e resultam em menores taxas de infecção e menor perda de sangue. Esses benefícios clínicos se traduzem em uma recuperação mais rápida, o que pode reduzir o tempo de internação hospitalar e, conseqüentemente, os custos associados à hospitalização (Menger et al., 2018).

Operacionalmente, a robótica pode aumentar a eficiência dos processos hospitalares, permitindo que os procedimentos sejam realizados de maneira mais rápida e com maior precisão. A automatização de tarefas rotineiras,

como a dispensação de medicamentos e a movimentação de materiais, libera o pessoal médico para se concentrar em atividades que exigem habilidades humanas e julgamento clínico (Jacofsky; Allen, 2016).

Adicionalmente, a utilização de robôs em procedimentos cirúrgicos pode reduzir a fadiga do cirurgião, resultando em melhores desempenhos e menor probabilidade de erros médicos. Esses benefícios operacionais melhoram a qualidade do atendimento ao paciente e podem levar a uma redução geral dos custos operacionais do hospital.

A comparação de custos e resultados entre diferentes sistemas de saúde é um aspecto importante da análise de custo-benefício da tecnologia robótica. Os sistemas de saúde variam amplamente em termos de estrutura, financiamento e recursos disponíveis, o que pode influenciar a viabilidade econômica da implementação da robótica (Calabrò et al., 2020).

Em países desenvolvidos, onde os sistemas de saúde são geralmente bem financiados e possuem infraestrutura avançada, a adoção da tecnologia robótica pode ser mais facilmente justificada pelos benefícios clínicos e operacionais proporcionados. Nesses contextos, os custos iniciais elevados podem ser compensados por economias de longo prazo, como a redução do tempo de internação e a diminuição das complicações pós-operatórias (Hussain et al., 2014).

Em contraste, nos países em desenvolvimento, onde os recursos são mais limitados e a infraestrutura de saúde pode ser menos avançada, a implementação da tecnologia robótica enfrenta desafios. Os altos custos iniciais de aquisição e manutenção dos sistemas robóticos podem ser proibitivos para muitos hospitais e clínicas (Piccinini, 2018).

Já a falta de pessoal treinado e de infraestrutura adequada pode dificultar a adoção e o uso efetivo da robótica. No entanto, mesmo nesses contextos, os benefícios potenciais da tecnologia robótica, como a melhoria da precisão cirúrgica e a redução do tempo de recuperação dos pacientes, podem justificar investimentos estratégicos, especialmente em centros de referência e hospitais de grande porte.

A análise comparativa de custos e resultados também deve considerar fatores contextuais específicos, como as políticas de saúde e os incentivos governamentais. Em alguns países, programas de financiamento e subsídios governamentais podem facilitar a aquisição e a implementação de tecnologias avançadas, incluindo a robótica (Riek, 2017).

Políticas de incentivo, como isenções fiscais e financiamento de projetos piloto, podem reduzir os custos iniciais e tornar a robótica mais acessível a um número maior de instituições de saúde. Ademais, a cooperação internacional e os programas de apoio de organizações não governamentais podem desempenhar um papel importante na disseminação da tecnologia robótica em países com recursos limitados.

ACESSIBILIDADE DA TECNOLOGIA ROBÓTICA

A acessibilidade da tecnologia robótica na área de saúde é um tema de crescente importância, à medida que a inovação tecnológica avança e as disparidades no acesso a cuidados de saúde de qualidade se tornam mais evidentes. A implementação de sistemas robóticos pode transformar a prática médica, mas a disseminação equitativa dessas tecnologias enfrenta inúmeras barreiras. As barreiras de acesso à tecnologia robótica em diferentes regiões e sistemas de saúde incluem questões financeiras, infraestrutura inadequada, falta de pessoal treinado e disparidades políticas e sociais (Chai et al., 2021).

As barreiras financeiras são uma das principais dificuldades enfrentadas na implementação da tecnologia robótica. Os custos iniciais elevados para a aquisição de sistemas robóticos, bem como os custos recorrentes de manutenção e atualização, podem ser proibitivos, especialmente para hospitais e clínicas em regiões com recursos limitados (Chai et al., 2021).

A falta de financiamento adequado pode limitar a capacidade das instituições de saúde de investir em tecnologias avançadas, resultando em uma distribuição desigual de benefícios clínicos. Também os altos custos de treinamento para o pessoal médico e técnico necessário para operar e manter os robôs acrescentam uma camada adicional de complexidade financeira (Okamura; Matarić; Christensen, 2010).

A infraestrutura inadequada é outra barreira para a acessibilidade da tecnologia robótica. Muitas regiões, especialmente em países em desenvolvimento, carecem da infraestrutura necessária para suportar a implementação e operação de sistemas robóticos. Isso inclui a infraestrutura física, como salas de cirurgia equipadas adequadamente e sistemas de energia confiáveis, bem como a infraestrutura tecnológica, como redes de comunicação de alta velocidade e sistemas de TI integrados. Sem essa infraestrutura de suporte, a adoção da robótica em saúde pode ser inviável, independentemente dos recursos financeiros disponíveis (Qbilat; Iglesias; Belpaeme, 2021).

A falta de pessoal treinado é igualmente problemática. A operação e a manutenção de sistemas robóticos requerem habilidades especializadas que muitas vezes não estão presentes no quadro atual de funcionários de saúde. Programas de treinamento extensivos e contínuos são necessários para garantir que os profissionais de saúde possam utilizar essas tecnologias de maneira segura. Em regiões onde o acesso a programas de formação de alta qualidade é limitado, a falta de pessoal qualificado pode ser um obstáculo insuperável à implementação da tecnologia robótica (Tavakoli; Carriere; Torabi, 2020).

As disparidades políticas e sociais também desempenham um papel importante na acessibilidade da tecnologia robótica. Políticas de saúde inadequadas e a falta de incentivos governamentais podem limitar a adoção de tecnologias avançadas. Em muitos países, a ausência de um quadro regulatório claro para a certificação e a aprovação de sistemas robóticos pode atrasar sua implementação. Ainda, as prioridades de saúde pública variam amplamente entre os países, e em muitos casos, a alocação de recursos é direcionada para necessidades mais imediatas e básicas, em detrimento de investimentos em tecnologia de ponta.



Políticas públicas e incentivos governamentais podem contribuir na superação dessas barreiras, pois, governos podem implementar políticas de financiamento que incluam subsídios para a aquisição de sistemas robóticos, bem como incentivos fiscais para hospitais e clínicas que investem em tecnologia avançada. Em adição, programas de parcerias público-privadas podem ser estabelecidos para compartilhar os custos e riscos associados à implementação da robótica em saúde. Essas iniciativas podem tornar a tecnologia mais acessível para um maior número de instituições, facilitando uma adoção mais ampla e equitativa (Stollnberger et al., 2014).

A análise comparativa entre países desenvolvidos e em desenvolvimento apresenta disparidades na acessibilidade da tecnologia robótica. Nos países desenvolvidos, onde os sistemas de saúde são geralmente bem financiados e possuem infraestrutura avançada, a adoção da robótica tem sido mais rápida. Instituições de saúde nesses países têm maior capacidade financeira para investir em novas tecnologias e estão mais bem equipadas para enfrentar os desafios operacionais associados (Tatebe et al., 2018).

Em contraste, nos países em desenvolvimento, a acessibilidade à tecnologia robótica é limitada por vários fatores. A falta de recursos financeiros, infraestrutura inadequada e escassez de pessoal qualificado são desafios predominantes. Embora haja um reconhecimento crescente dos benefícios potenciais da robótica em saúde, a implementação efetiva é frequentemente restringida pelas limitações práticas e estruturais. No entanto, algumas iniciativas de sucesso em países em desenvolvimento demonstram que, com apoio adequado e estratégias bem planejadas, é possível superar essas barreiras e melhorar o acesso à tecnologia robótica (Yang et al., 2020).

Para aumentar a acessibilidade da tecnologia robótica em saúde, várias propostas podem ser consideradas. Primeiro, é essencial promover investimentos em infraestrutura de saúde, garantindo que as instalações médicas estejam equipadas para suportar a implementação de sistemas robóticos, como a atualização das instalações físicas e o fortalecimento da infraestrutura tecnológica e de comunicação. Segundo, é necessário investir em programas de treinamento e capacitação para o pessoal de saúde. A criação de centros de treinamento especializados e a inclusão de módulos de robótica nos currículos de escolas de medicina e enfermagem podem ajudar a formar uma força de trabalho qualificada (Lam et al., 2021).

Além disso, a colaboração internacional pode cooperar na disseminação da tecnologia robótica, visto que programas de cooperação e intercâmbio entre países desenvolvidos e em desenvolvimento podem facilitar a transferência de conhecimento e tecnologia, bem como o acesso a financiamento e recursos técnicos. Organizações internacionais e ONGs podem contribuir para esses esforços, fornecendo apoio técnico e financeiro e promovendo parcerias globais (Lam et al., 2021).

Já a formulação de políticas públicas inclusivas e a criação de incentivos governamentais são essenciais para promover a adoção da robótica em saúde. Governos devem desenvolver e implementar políticas que incentivem a

inovação e a adoção de tecnologias avançadas, incluindo subsídios, incentivos fiscais e programas de financiamento. A criação de um ambiente regulatório claro e favorável também é importante para facilitar a certificação e a implementação de sistemas robóticos, garantindo que as tecnologias sejam seguras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho reitera que a incorporação da tecnologia robótica na área da saúde representa um avanço, com potencial para transformar práticas médicas e melhorar a eficiência dos sistemas de saúde globalmente. A análise de custo-benefício demonstra que, apesar dos elevados custos iniciais, os benefícios clínicos e operacionais justificam os investimentos. A precisão cirúrgica aprimorada, a redução do tempo de recuperação dos pacientes e a diminuição das complicações pós-operatórias configuram-se como vantagens decisivas que contribuem para a qualidade dos cuidados prestados.

Constatam-se, no entanto, barreiras que limitam a acessibilidade da tecnologia robótica, especialmente em países em desenvolvimento. Os altos custos de aquisição, manutenção e treinamento constituem obstáculos substanciais. Já a infraestrutura inadequada e a escassez de pessoal qualificado evidenciam-se como desafios adicionais que dificultam a implementação da robótica em saúde. Disparidades políticas e sociais também influenciam a distribuição equitativa dessa tecnologia, agravando as diferenças no acesso a cuidados de saúde avançados.

Conclui-se que políticas públicas e incentivos governamentais cooperam na promoção da acessibilidade à tecnologia robótica, em que a implementação de subsídios, incentivos fiscais e programas de financiamento pode mitigar os custos elevados e facilitar a adoção em uma variedade de instituições de saúde. A formação de parcerias público-privadas e a colaboração internacional são estratégias fundamentais que promovem a transferência de conhecimento e recursos, contribuindo para a superação das barreiras existentes.

Ao comparar países desenvolvidos e em desenvolvimento, percebe-se que os primeiros apresentam maior facilidade na adoção da robótica devido a sistemas de saúde mais robustos e políticas de incentivo mais efetivas. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, a implementação da robótica ainda enfrenta limitações. No entanto, iniciativas de sucesso nesses contextos demonstram que, com apoio adequado e estratégias bem planejadas, a tecnologia robótica pode ser melhor integrada, mesmo em ambientes com recursos limitados.

Para aumentar a acessibilidade da tecnologia robótica, recomenda-se promover investimentos em infraestrutura de saúde e programas de treinamento e capacitação para o pessoal médico. Ainda, a criação de políticas públicas inclusivas e a implementação de incentivos governamentais são medidas essenciais para fomentar a adoção da robótica em saúde. Com essas ações, espera-se reduzir as disparidades no acesso e garantir que os benefícios da robótica sejam amplamente distribuídos, melhorando a qualidade e a eficiência dos cuidados de saúde



globalmente.

REFERÊNCIAS

AHMED, Kamran et al. Assessing the cost effectiveness of robotics in urological surgery—a systematic review. **BJU international**, v. 110, n. 10, p. 1544-1556, 2012.

BOCH, Auxane et al. Beyond the Metal flesh: understanding the intersection between bio-and ai ethics for robotics in healthcare. **Robotics**, v. 12, n. 4, p. 110, 2023.

CALABRÒ, Rocco Salvatore et al. Who will pay for robotic rehabilitation? The growing need for a cost-effectiveness analysis. **Innovations in Clinical Neuroscience**, v. 17, n. 10-12, p. 14, 2020.

CHAI, Peter R. et al. Assessment of the acceptability and feasibility of using mobile robotic systems for patient evaluation. **JAMA network open**, v. 4, n. 3, p. e210667-e210667, 2021.

CRESSWELL, Kathrin; CUNNINGHAM-BURLEY, Sarah; SHEIKH, Aziz. Health care robotics: qualitative exploration of key challenges and future directions. **Journal of medical Internet research**, v. 20, n. 7, p. e10410, 2018.

HUSSAIN, Azhar et al. The use of robotics in surgery: a review. **International journal of clinical practice**, v. 68, n. 11, p. 1376-1382, 2014.

JACOFISKY, David J.; ALLEN, Mark. Robotics in arthroplasty: a comprehensive review. **The Journal of arthroplasty**, v. 31, n. 10, p. 2353-2363, 2016.

JOSEPH, Azeta et al. A review on humanoid robotics in healthcare. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 02004.

KHAN, Zeashan Hameed; SIDDIQUE, Afifa; LEE, Chang Won. Robotics utilization for healthcare digitization in global COVID-19 management. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 11, p. 3819, 2020.

LAM, Kyle et al. Uptake and accessibility of surgical robotics in England. **The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery**, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2021.

MAIBAUM, Arne et al. A critique of robotics in health care. **AI & society**, p. 1-11, 2022.

MENGER, Richard Philip et al. A cost-effectiveness analysis of the integration of robotic spine technology in spine surgery. **Neurospine**, v. 15, n. 3, p. 216, 2018.

OKAMURA, Allison M.; MATARIĆ, Maja J.; CHRISTENSEN, Henrik I. Medical and health-care robotics. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 17,

n. 3, p. 26-37, 2010.

OÑA, Edwin Daniel et al. Robotics in health care: Perspectives of robot-aided interventions in clinical practice for rehabilitation of upper limbs. **Applied sciences**, v. 9, n. 13, p. 2586, 2019.

PICCININNI, Caroline Rose. Cost-Effectiveness of Robotics and Artificial Intelligence in Healthcare: Focus on Robot-Assisted Prostatectomy. **University of Western Ontario Medical Journal**, v. 87, n. 2, p. 49-51, 2018.

QBILAT, Malak; IGLESIAS, Ana; BELPAEME, Tony. A proposal of accessibility guidelines for human-robot interaction. **Electronics**, v. 10, n. 5, p. 561, 2021.

RIEK, Laurel D. Healthcare robotics. **Communications of the ACM**, v. 60, n. 11, p. 68-78, 2017.

ROSEN, Jacob (Ed.). **Wearable robotics: Systems and applications**. Academic Press, 2019.

SIMIANU, Vlad V. et al. Cost-effectiveness evaluation of laparoscopic versus robotic minimally invasive colectomy. **Annals of surgery**, v. 272, n. 2, p. 334-341, 2020.

SONE, Phoo Pyae et al. Robotics in Healthcare: A Practice Supporting Medicine for Patients. **한국정보과학회 학술발표논문집**, p. 194-196, 2019.

STOLLNBERGER, Gerald et al. Robotic systems in health care. In: **2014 7th International Conference on Human System Interactions (HSI)**. IEEE, 2014. p. 276-281.

SWANK, Michael L. et al. Technology and cost-effectiveness in knee arthroplasty: computer navigation and robotics. **Am J Orthop (Belle Mead NJ)**, v. 38, n. 2 Suppl, p. 32-36, 2009.

TATEBE, Leah Carey et al. Socioeconomic factors and parity of access to robotic surgery in a county health system. **Journal of Robotic Surgery**, v. 12, p. 35-41, 2018.

TAVAKOLI, Mahdi; CARRIERE, Jay; TORABI, Ali. Robotics, smart wearable technologies, and autonomous intelligent systems for healthcare during the COVID-19 pandemic: An analysis of the state of the art and future vision. **Advanced intelligent systems**, v. 2, n. 7, p. 2000071, 2020.

WEHDE, Mark. Healthcare 4.0. **IEEE Engineering Management Review**, v. 47, n. 3, p. 24-28, 2019.

YANG, Geng et al. Homecare robotic systems for healthcare 4.0: Visions and enabling technologies. **IEEE journal of biomedical and health informatics**, v. 24, n. 9, p. 2535-2549, 2020.

