

Aplicações da inteligência artificial na Medicina: eletrocardiografia, diagnóstico por imagem, telemedicina e desenvolvimento de novos fármacos

Applications of artificial intelligence in Medicine: electrocardiography, image diagnosis, telemedicine and development of new drugs

Rodrigo Vittor Pontes Caetano¹, Ana Luisa Coutinho Fragoso¹, Anne Gabrielly de Oliveira Silva¹, Arthur Gomes Fernandes¹, Genival Bandeira Tenório¹, Giovanna Vasconcelos Moraes¹, Isabel Leão Nunes¹, Jeisiane Railine Santana Ferreira¹, Pedro Henrique Oliveira dos Santos Silva Neto¹, Márcio Silva da Conceição²

¹Curso de Medicina da Faculdade de Ensino Superior da Amazônia Reunida, Redenção – PA, Brasil; ²Curso de Medicina da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém – PA, Brasil.

Resumo

A inteligência artificial (IA), definida por sua capacidade de simular funções cognitivas como aprendizado e resolução de problemas, tem se consolidado como uma força transformadora na medicina. Ela tem sido peça-chave na melhoria da precisão diagnóstica, no apoio à tomada de decisão clínica e na personalização do cuidado aos pacientes. Este estudo narrativo explora os avanços e desafios dessa tecnologia em quatro vertentes: eletrocardiografia, diagnóstico por imagem, telemedicina e desenvolvimento de novos fármacos. Na eletrocardiografia, algoritmos de IA aprimoram a detecção de anomalias cardíacas, proporcionando diagnósticos mais precisos. No diagnóstico por imagem, a IA analisa exames como tomografias e mamografias com alta acurácia, auxiliando no rastreamento precoce de doenças. A telemedicina, potencializada pela IA, expande o acesso a cuidados de saúde, melhora o monitoramento remoto e a qualidade do atendimento. Adicionalmente, a IA acelera o desenvolvimento de novos fármacos, desde a identificação de alvos terapêuticos e biomarcadores até a otimização de ensaios clínicos. Contudo, a implementação eficaz da IA na medicina enfrenta obstáculos como a necessidade de infraestrutura adequada, capacitação profissional, questões éticas relacionadas à privacidade de dados e a validação rigorosa dos algoritmos. Superar tais barreiras é fundamental para que o potencial transformador da IA nos cuidados de saúde seja plenamente realizado.

Descritores: Inteligência artificial; Autoria na publicação científica; Eletrocardiografia; Diagnóstico por imagem; Assistência farmacêutica; Prescrições de medicamentos

Abstract

Artificial intelligence (AI), defined by its ability to simulate cognitive functions such as learning and problem-solving, has established itself as a transformative force in medicine. It has been a key player in improving diagnostic accuracy, supporting clinical decision-making, and personalizing patient care. This narrative study explores the advances and challenges of this technology in four areas: electrocardiography, diagnostic imaging, telemedicine, and the development of new drugs. In electrocardiography, AI algorithms improve the detection of cardiac anomalies, providing more accurate diagnoses. In diagnostic imaging, AI analyzes exams such as CT scans and mammograms with high accuracy, aiding in the early detection of diseases. Telemedicine, powered by AI, expands access to health care, improves remote monitoring, and improves the quality of care. Additionally, AI accelerates the development of new drugs, from the identification of therapeutic targets and biomarkers to the optimization of clinical trials. However, the effective implementation of AI in medicine faces obstacles such as the need for adequate infrastructure, professional training, ethical issues related to data privacy, and rigorous validation of algorithms. Overcoming these barriers is essential if the transformative potential of AI in healthcare is to be fully realized.

Descriptors: Artificial intelligence; Authorship in scientific publication; Electrocardiography; Diagnostic imaging; Pharmaceutical assistance; Medication prescription

Introdução

Atualmente, o avanço e a aplicação de novas tecnologias têm revolucionado a prática médica de modo significativo. A principal inovação, nesse contexto, é a Inteligência Artificial (IA), a qual tem sido peça-chave na melhoria da precisão diagnóstica, no apoio à tomada de decisão clínica pela equipe de cuidado e na personalização do cuidado às particularidades dos pacientes.

Em vista da digitalização da sociedade contemporânea, os dados em saúde crescem exponencialmente, de tal modo que os profissionais de saúde geralmente não conseguem acompanhar e processar tantas informações de forma eficaz e dentro do tempo necessário.¹

Em face disso, a IA emerge como uma importante ferramenta de trabalho ao permitir a análise automatizada de grandes volumes de dados clínicos e, ao mesmo tempo, simular funções cognitivas como: raciocínio, aprendizado e resolução de problemas. Essa capacidade tem favorecido a emissão de diagnósticos rápidos, precisos e adaptados às necessidades e particularidades de cada paciente.²

Uma das áreas altamente promissoras na integração da IA à prática médica é o diagnóstico por imagem. Algumas técnicas já são capazes de superar métodos convencionais em diversos segmentos, tais como: radiologia torácica, mamografia e oncologia, proporcionando detecções mais precisas de lesões e anomalias.³

Outra área de grande destaque para a aplicação da IA é a eletrocardiografia. Algoritmos que foram treinados com grande volume de dados demonstram excelente desempenho na detecção de algumas anomalias, como arritmias e alterações do ritmo cardíaco.⁴

Outro campo importante é a telemedicina com integração a sistemas de IA, realidade altamente promissora. Já é possível realizar triagens automatizadas, suporte remoto ao atendimento médico e cuidado personalizado mesmo em lugares com acesso limitado a profissionais da saúde por meio da integração da inteligência de computadores.

Outro prisma tem sido debatido: desenvolvimento de novos fármacos. Estudos e aplicações práticas demonstram que a IA tem contribuído significativamente nesse processo, sobretudo na identificação de biomarcadores e na realização de testes preditivos, especialmente em doenças raras e de difícil tratamento.⁵

Em consonância ao desenvolvimento, ferramentas baseadas em IA vêm sendo utilizadas em estratégias de rastreamento populacional em países com infraestrutura de saúde limitada, ampliando o acesso ao cuidado.⁶ O objetivo ao se analisar volumosas bases de dados (big data) é criar modelos preditivos mais eficientes mediante algoritmos que integram diferentes tipos de dados em um propósito comum.⁷⁻⁹

Diante de um cenário em constante evolução, torna-se essencial refletir sobre os avanços e os desafios relacionados à incorporação da inteligência artificial na medicina. Compreender de que forma essas tecnologias vêm sendo integradas à prática clínica é fundamental para avaliar seus impactos reais no cuidado prestado aos pacientes e dirimir tabus preexistentes sobre o tema.

Revisão da literatura

A diversidade dos dados utilizados na IA médica é notável, incluindo informações clínicas, laboratoriais, socioambientais, genômicas e até mesmo píxeis de imagens codificados em sistemas RGB.¹ Além disso, o avanço da digitalização de exames, prontuários eletrônicos e dados biomédicos gerou um ambiente próprio para o desenvolvimento de algoritmos inteligentes.⁹

Nesse contexto, os modelos de deep learning se destacam pela habilidade de aprender e ajustar-se automaticamente por meio de múltiplas camadas de processamento, maximizando a precisão preditiva.⁶ Já técnicas de ML têm possibilitado a previsão de desfechos clínicos, o diagnóstico precoce de doenças e a estratificação de pacientes em grupos de risco.⁵

Esses modelos são treinados a partir da observação contínua de padrões e conseguem aplicar o conhecimento adquirido a novos dados, mesmo quando ainda não vistos pelo sistema.⁹ Entretanto, muitos modelos, conforme apontam Magrabi, Lyell e Coiera (2023)¹⁰, apresentam limitações quando

aplicados fora do contexto em que foram treinados, portanto é pertinente atentar para a qualidade dos dados, reprodutibilidade dos estudos e validação das ferramentas criadas.

Segundo Liu *et al.* (2021)¹¹, algoritmos que analisam dados radiológicos, endoscópicos, laboratoriais e bioquímicos oferecem resultados mais rápidos e precisos do que métodos tradicionais, agilizando o tempo de resposta clínica e reduzindo custos. Essa agilidade é fundamental em cenários emergenciais ou de alta complexidade assistencial.

A adoção de tecnologias baseadas em inteligência artificial (IA) também levanta relevantes questões éticas, como a proteção de dados pessoais sensíveis, a transparência nas decisões algorítmicas e a responsabilização por possíveis falhas.² De acordo com Amaral *et al.* (2024)³, a ausência de diversidade nos bancos de dados pode gerar vieses estruturais que afetam a acurácia diagnóstica em populações minoritárias.

Embora a IA contribua para reduzir erros diagnósticos e promova a medicina de precisão, essas tecnologias não substituem o julgamento clínico, de modo que a sua utilização só é plena se for integrada à inteligência humana, equilíbrio cada vez mais necessário diante da automação crescente.¹⁰

Eletrocardiografia

Dentro desse cenário de inovação, a eletrocardiografia destaca-se como uma das ferramentas diagnósticas mais amplamente utilizadas, graças à sua natureza não invasiva, baixo custo e ampla disponibilidade. Apesar de sua importância, a interpretação do ECG pode ser suscetível a erros humanos, sobretudo em locais sem especialistas. A IA surge como um suporte fundamental, permitindo a detecção automatizada de padrões eletrocardiográficos sutis e proporcionando diagnósticos mais precisos e padronizados.¹²

O advento das redes neurais profundas (DNNs) ampliou as possibilidades diagnósticas no ECG. De acordo com Attia *et al.* (2021)⁴, algoritmos treinados com grandes bancos de dados conseguiram prever a presença de disfunção ventricular esquerda, fibrilação atrial silenciosa e cardiomiopatia hipertrófica a partir de eletrocardiogramas aparentemente normais, demonstrando o poder da predição da IA.

Este modelo preditivo é ainda mais favorecido pela capacidade da IA em integrar dados genômicos, clínicos e sociais do indivíduo. Essa abordagem favorece a medicina de precisão, onde as decisões são baseadas em dados multivariados e não apenas em protocolos rígidos.⁹ Contudo, é essencial destacar que a qualidade e diversidade dos dados utilizados têm grande influência no desempenho dos modelos.

Embora a IA tenha grande potencial, sua implementação na cardiologia enfrenta desafios,

como a falta de ensaios clínicos randomizados para avaliar a significância clínica e a custo-efetividade dessas ferramentas.¹² Além disso, em situações clínicas complexas, a necessidade de supervisão humana torna-se ainda mais indispensável. O equilíbrio entre o ceticismo excessivo e a confiança total é o caminho a ser trilhado.

Diagnóstico por imagem

O diagnóstico por imagem é uma das áreas mais impactadas pela inteligência artificial (IA), especialmente com as redes neurais convolucionais (CNNs), que permitem processar e interpretar dados visuais com alta precisão. Essas tecnologias ajudam a IA a identificar padrões sutis em exames como tomografias, mamografias e ressonâncias magnéticas, muitas vezes superando a capacidade de avaliação humana.³ Com isso, a prática diagnóstica e o rastreamento precoce de doenças têm avançado significativamente.

De acordo com Jheng *et al.* (2020)⁶, as redes neurais convolucionais (CNNs) têm sido amplamente aplicadas em radiologia, patologia e dermatologia, ajudando na classificação de doenças e resultando em diagnósticos mais rápidos e precisos. Essa utilização eficiente do tempo e dos recursos impacta diretamente a qualidade do cuidado e os gastos nos sistemas de saúde.

Em certos contextos, a IA pode alcançar desempenho similar ao de especialistas, como no diagnóstico do câncer de mama, tornando-se essencial para enfrentar a escassez de profissionais e reduzir erros por fadiga ou sobrecarga.¹¹ Além disso, este avanço evita a sobrecarga de trabalho dos radiologistas e aprimora a triagem de exames em serviços de alta demanda.

No campo da oftalmologia, a IA tem sido eficaz na detecção de retinopatia diabética, com algoritmos que, combinados com o processamento de imagem e redes neurais, alcançam taxas de acurácia superiores a 95%, ajudando a reduzir casos de cegueira evitável.¹³

Além disso, a IA tem contribuído para a personalização do tratamento oncológico. Com a análise de imagens associadas a dados clínicos e biomarcadores, os algoritmos conseguem identificar tecidos malignos e benignos, prever respostas ao tratamento e ajudar nas decisões terapêuticas, principalmente para cânceres de pulmão, fígado e ovário.³

A ferramenta, além de sua precisão, é valorizada pela padronização que oferece, um aspecto crucial em ambientes com alta rotatividade de profissionais. Porém, a adoção da IA nos exames de imagem exige adequada infraestrutura, acesso a banco de dados de qualidade e integração aos sistemas clínicos.

Telemedicina

A telemedicina se posiciona como uma estratégia para ampliar o acesso à saúde, especialmente em regiões remotas ou com carência de profissionais. A

integração da inteligência artificial (IA) nesse cenário potencializa tanto a eficiência diagnóstica quanto a personalização do cuidado. Segundo Hackl, Neururer e Pfeifer (2023)⁶, o uso de aplicativos móveis de saúde (mHealth) aliados à IA está revolucionando a análise e a utilização de dados clínicos ao permitir a construção de planos terapêuticos individualizados a partir de grandes volumes de informações.

Além de expandir o acesso, a IA aprimora o monitoramento remoto de pacientes por meio de sensores inteligentes e algoritmos capazes de acompanhar variáveis fisiológicas, como pressão arterial, frequência cardíaca e glicemia, em tempo real. Geny *et al.* (2024)¹⁴ ressaltam que, durante a pandemia de COVID-19, essa tecnologia foi essencial para antecipar altas hospitalares por monitorar pacientes à distância e aliviar a sobrecarga dos sistemas de saúde.

Além disso, o estudo de Vodrahalli *et al.* (2023)¹⁵ demonstrou que algoritmos de IA conseguem reduzir significativamente problemas de foco, iluminação e enquadramento, proporcionando feedback em tempo real. Isso otimiza o diagnóstico, reduz retrabalho e torna a experiência mais eficiente para os pacientes.

O avanço da telemedicina com suporte de IA vem impulsionando a comunicação entre centros médicos. Na província de Xinjiang, na China, foi possível estabelecer uma rede interligada de hospitais para consultas, ensino e discussão de casos complexos, promovendo uma prática médica colaborativa e de alta qualidade. Conforme relatam Huo *et al.* (2024)¹⁶, esse modelo está transformando o acesso à medicina especializada em regiões de difícil cobertura.

Entretanto, há grandes desafios a serem superados, entre eles está a padronização de sistemas, proteção de dados, responsabilidade médica e capacitação profissional para o manuseio adequado das ferramentas de IA. Magrabi, Lyell e Coiera (2023)¹⁰ enfatizam que o desenvolvimento de soluções deve ser orientado por necessidades clínicas reais, assegurando que a revolução digital na saúde seja inclusiva, segura e efetiva.

Desenvolvimento de novos fármacos

A jornada de concepção, testes e aprovação de novos fármacos é complexa e tipicamente dividida em múltiplas fases, desde a pesquisa básica e descoberta do fármaco até os estudos pré-clínicos, ensaios clínicos em humanos e, finalmente, a aprovação e monitoramento pós-comercialização, processo que demanda tempo, recursos e bastante trabalho de uma equipe técnica.¹⁷

Estima-se um gasto de três bilhões de dólares para desenvolver um novo medicamento,¹⁸ e a taxa de falha nos ensaios clínicos pode chegar a 90%, justificada, em grande parte, pela falta de eficácia clínica, toxicidade incontrolável e características medicamentosas falhas, como dificuldade de metabolização e excreção.¹⁹

Neste contexto oportuno, a IA surge como uma ferramenta transformadora, com o potencial de otimizar e acelerar diversas etapas desse longo ciclo. O objetivo ao aplicar algoritmos de IA é não apenas reduzir os custos e tempo investidos, mas também aumentar a taxa de sucesso no desenvolvimento de novas terapias.¹¹

Ferramentas de ML e DL, subcampos da IA, são empregadas para analisar grandes volumes de dados biológicos e químicos, identificando potenciais candidatos a fármacos com maior precisão e eficiência do que os métodos convencionais.²⁰

Não somente, mas também a identificação de biomarcadores preditivos melhora as taxas de sucesso dos ensaios clínicos, seleciona voluntários mais suscetíveis a respostas e permite novas descobertas sobre as doenças, orientando novos tratamentos mais eficazes e seguros.²¹

A capacidade da IA em prever a toxicidade de compostos e auxiliar na compreensão das interações fármaco-alvo e suas relações estrutura-atividade (SAR) permite uma seleção mais assertiva de candidatos para as fases posteriores.²² Além disso, a IA é capaz de selecionar adequadamente o grupo amostral e otimizar o desenho dos ensaios clínicos randomizados controlados (RCTs).

Ademais, o reposicionamento de fármacos – contexto em que um fármaco já conhecido é redirecionado para novas terapias – é viabilizado pela IA, uma vez que os modelos preditivos avaliam as características já conhecidas, o que pode acelerar o desenvolvimento clínico e reduzir os riscos associados.²³

Discussão

O presente estudo permitiu identificar que, embora as aplicações da IA estejam cada vez mais integradas à rotina clínica, desafios importantes ainda precisam ser superados para que tais inovações sejam plenamente incorporadas com segurança e efetividade. Questões como infraestrutura tecnológica, capacitação profissional, confiabilidade dos dados e regulamentação ainda precisam ser transpostas.¹²

Na eletrocardiografia, há possibilidade de prever eventos e anomalias cardiovasculares⁴, personalização do cuidado e avaliação de riscos individuais⁹ por meio de análises inteligentes de eletrocardiogramas, promovendo a eficiência e a agilidade no diagnóstico precoce. Entretanto, há carência de estudos para avaliar a significância clínica e custo-efetividade dessas ferramentas.

Já no âmbito do diagnóstico por imagem, a IA demonstrou reduzir sobrecarga de trabalho de profissionais e aumentar a precisão na detecção de patologias, como neoplasias e doenças oftalmológicas.^{3,13} Todavia, é importante a utilização de bancos de dados representativos para treinamento dos modelos, de modo a torná-los fidedignos à real condição clínica do paciente.

Na telemedicina, a integração da IA está ampliando o acesso à saúde de qualidade, especialmente em regiões remotas e com carência de profissionais. O uso de algoritmos para triagem, monitoramento remoto e suporte diagnóstico contribui para a eficiência dos atendimentos.⁷ No entanto, é necessário garantir a proteção de dados sensíveis, a padronização de sistemas e a capacitação dos profissionais para uso adequado das ferramentas digitais.¹⁰

Por fim, no desenvolvimento de novos fármacos, a IA contribui para o avanço da medicina de precisão, para a ampliação do acesso a terapias inovadoras e para o aprimoramento dos tradicionais processos longos e dispendiosos de desenvolvimento de drogas.⁵ Contudo, a dependência de dados massivos e a necessidade de validação experimental dos resultados obtidos continuam sendo barreiras significativas.²²

De modo geral, este estudo corrobora a literatura ao apontar que, embora a IA apresente benefícios substanciais na prática médica, as dificuldades para sua implementação ainda são desafiadoras. Desse modo, para que as potencialidades da IA sejam plenamente exploradas, recomenda-se a promoção de esforços interdisciplinares que envolvam profissionais da saúde, engenheiros, cientistas de dados e legisladores com vistas à construção de sistemas mais seguros, éticos, eficazes e equitativos.

Conclusões

Este estudo evidenciou que a Inteligência Artificial tem promovido avanços significativos na medicina, especialmente na eletrocardiografia, no diagnóstico por imagem, na telemedicina e no desenvolvimento de novos fármacos, ao otimizar diagnósticos, personalizar tratamentos e ampliar o acesso aos serviços de saúde. Contudo, desafios relacionados à validação dos algoritmos, à proteção de dados e à capacitação profissional ainda limitam sua plena implementação. Como perspectiva futura, destaca-se a necessidade de promover a integração ética e segura da IA na prática clínica, mediante investimentos em infraestrutura, regulamentação adequada e formação interdisciplinar, para que seus benefícios possam ser amplamente aproveitados e equitativamente distribuídos.

Referências

1. Souza Filho EM, Fernandes FA, Soares CLA, Seixas FL, Santos AASMD, Gismondi RA, *et al.* Artificial Intelligence in Cardiology: Concepts, Tools and Challenges – “The Horse is the One Who Runs, You Must Be the Jockey.” *Arq Bras Cardiol* [Internet]. 2019 [cited 2020 Oct 31];(AHEAD). Available from: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0066-782X2019005022109&script=sci_arttext
2. Carini C, Seyhan AA. Tribulations and future opportunities for artificial intelligence in precision medicine. *J Transl Med.* 2024 30;22(1).

3. Jucá JAG, Almeida ACM, Santos DC, Araújo EJN, Moreira LA, Tessinari MS, *et al.* O impacto da inteligência artificial na interpretação de exames de imagem e na prática clínica radiológica. *Rev Ibero-Am Humanid Ciênc Educ.* 2024;10(11): 72-86. doi: 10.51891/rease.v10i10.16393.
4. Attia ZI, Harmon DM, Behr ER, Friedman PA. Application of artificial intelligence to the electrocardiogram. *Eur Heart J.* 2021; 42(46):4717–30. doi: 10.1093/eurheartj/ehab649.
5. Wojtara M, Rana E, Rahman A, Khanna P, Singh H. Artificial intelligence in rare disease diagnosis and treatment. *Clin Transl Sci.* 2023; 16(11): 2106-11. doi: 10.1111/cts.13619.
6. Jheng YC, Kao CL, Yarmishyn AA, Chou YB, Hsu CC, Lin TC, *et al.* The era of artificial intelligence-based individualized telemedicine is coming. *J Chin Med Assoc.* 2020; 83(11):981–3. doi: 10.1097/JCMA.0000000000000374.
7. Hackl WO, Neururer SB, Pfeifer B. Transforming Clinical Information Systems: Empowering healthcare through telemedicine, Data Science, and artificial intelligence applications. *Yearb Med Inform.* 2023;32(01):127–37. doi: 10.1055/s-0043-1768756.
8. Wang HH, Li Y, Huang J, Huang W, Wong MC. Advances and opportunities in the new digital era of telemedicine, e-health, artificial intelligence, and beyond. *Hong Kong Med J.* 2023 cited 2023 Nov 10;29(5):380–2. Available from: <https://www.hkmj.org/system/files/hkmj235152.pdf>.
9. Paixão GMM, Santos BC, Araújo RM, Ribeiro MH, Moraes JL, Ribeiro AL. Machine learning na Medicina. *Revisão e Aplicabilidade.* *Arq Bras Cardiol.* 2022; 118(1): 95-102.
10. Magrabi F, Lyell D, Enrico Coiera. Automation in Contemporary Clinical Information Systems: a Survey of AI in Healthcare Settings. *Yearb Med Inform.* 2023;32(01):115–26. doi: 10.1055/s-0043-1768733.
11. Peng-ran Liu, Lin Lu, Jia-yao Zhang, Tong-tong Huo, Song-xiang Liu, Zhe-wei Ye. Application of artificial intelligence in Medicine: an overview. *Curr Med Sci.* 2021; 41(6): 1105-15. doi: 10.1007/s11596-021-2474-3.
12. Neves NS, Guimarães TB, Souza A. Diagnóstico eletrocardiograma realizados pela inteligência artificial [Internet]. *Rev Cient Unifenas. Perspectivas Médicas: Saberes Integrados*; 2024 [cited 2025 May 31]. Available from: <https://revistas.unifenas.br/index.php/revistaunifenas/article/view/1080>.
13. Al-Hazaimeh OM, Abu-Ein A, Tahat N, Al-Smadi M, Al-Nawashi M. Combining artificial intelligence and image processing for diagnosing diabetic retinopathy in retinal fundus images. *Int J online Biomed Engineer.* 2022;18(13):131–51. doi: 10.3991/ijoe.v18i13.33985.
14. Geny M, Andres E, Talha S, Geny B. Liability of health professionals using sensors, telemedicine and artificial intelligence for remote healthcare. *Sensors.* 2024;24(11):3491. doi: 10.3390/s24113491.
15. Vodrahalli K, Ko J, Chiou AS, Novoa R, Abid A, Phung M, *et al.* Development and clinical evaluation of an artificial intelligence support tool for improving telemedicine photo quality. *JAMA Dermatol.* 2023; 159(5):496-503. doi: 10.1001/jamadermatol.2023.0091.
16. Research on the digital application of telemedicine based on internet big data in the era of artificial intelligence – Minerva Med. 2024; 115(1):92-5 [Internet]. *Minervamedica.it.* 2024 [cited 2025 May 29]. Available from: <https://www.minervamedica.it/en/journals/minerva-medica/article.php?cod=R10Y2024N01A0092>.
17. Singh N, Vayer P, Tanwar S, Poyet JL, Tsaioun K, Villoutreix BO. Drug discovery and development: introduction to the general public and patient groups. *Front Drug Discov [Internet].* 2023 May 24;3. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/drug>. doi: 10.3389/fddsv.2023.1201419/full.
18. Wouters OJ, McKee M, Luyten J. Estimated Research and Development Investment Needed to Bring a New Medicine to Market, 2009-2018. *JAMA [Internet].* 2020 Mar 3;323(9):844. doi: 10.1001/jama.2020.1166.
19. Sun D, Gao W, Hu H, Zhou S. Why 90% of clinical drug development fails and how to improve it? *Acta Pharmaceut Sinica B.* 2022 Feb;12(7): 3049-62. doi: 10.1016/j.apsb.2022.02.002.
20. Rehman AU, Li M, Wu B, Ali Y, Rasheed S, Shaheen S, *et al.* Role of artificial intelligence in revolutionizing drug discovery. *Fund Res.* 2025;5(3):1273-87. doi: 10.1016/j.fmre.2024.04.021.
21. Bai R, Lv Z, Xu D, Cui J. Predictive biomarkers for cancer immunotherapy with immune checkpoint inhibitors. *Biomark Res.* 2020. doi: 10.1186/s40364-020-00209-0.
22. Paul D, Sanap G, Shenoy S, Kalyane D, Kalia K, Tekade RK. Artificial intelligence in drug discovery and development. *Drug Discov Today.* 2020;26(1):80–93. doi: 10.1016/j.drudis.2020.10.010.
23. Boniolo F, Dorigatti E, Ohnmacht AJ, Saur D, Schubert B, Menden MP. Artificial intelligence in early drug discovery enabling precision medicine. *Expert Opin Drug Discov.* 2021; 16(9):991-1007. doi: 10.1080/17460441.2021.1918096.

Endereço para correspondência:

Rodrigo Vitor Pontes Caetano
Rua Frei Gil de Vila Nova, 264, Núcleo Urbano
Redenção – PA, CEP. 68553-220
Brasil

E-mail: rodrigovitor.pontes@gmail.com

Recebido em 12 de Junho de 2024
Aceito em 17 de junho de 2024

