



C A P Í T U L O 5

DESAFIOS E BENEFÍCIOS DO USO DE ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO RASTREIO DE CÂNCER DE MAMA

Isabella Basílio França

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

Laura Cardoso Viana

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

Thayza Resende Ribeiro

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

Carolina Queiroz Bernardes

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

Paula Marynella Alves Pereira Lima

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

Flávio Rocha Gil

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, MG-Brasil.

O câncer é um conjunto de doenças, que tem como característica comum falhas no processo apoptótico de células pré-cancerosas. Além disso, essas células não respondem adequadamente aos mecanismos de controle do ciclo celular, resultando em sua multiplicação descontrolada e no desenvolvimento de tumores malignos (Junqueira, 2017). Entre os tipos de câncer mais prevalentes, no Brasil, o câncer de mama se destaca como o mais incidente na população feminina. Durante cada ano do período de 2023 a 2025, foram projetados 73.610 novos casos, correspondendo a uma taxa de incidência ajustada de 41,89 casos a cada 100 mil mulheres. As regiões Sudeste e Sul apresentaram as maiores taxas, com 12,64 e 12,79 óbitos por 100.000 mulheres, respectivamente (Brasil, 2022).

Nesse cenário, à medida que as doenças evoluem no corpo humano, as tecnologias e as abordagens terapêuticas também avançam. A Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma ferramenta promissora, capaz de processar grandes volumes de dados e colaborar com os métodos tradicionais de diagnóstico assistido por computador, aumentando a precisão e a segurança tanto para médicos quanto para pacientes (Topol, 2019).

Uma das aplicações mais relevantes da IA é a interpretação de imagens médicas. Algoritmos baseados em técnicas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo permitem que sistemas de IA analisem radiografias, tomografias computadorizadas (TC), ressonâncias magnéticas (RM) e mamografias, auxiliando na detecção de sinais que possam indicar a presença de câncer. Por exemplo, os sistemas de IA são capazes de identificar anomalias em mamografias com precisão comparável à dos radiologistas, facilitando a detecção precoce do câncer de mama (Santiago *et al.*, 2024).

Métodos auxiliados por computador (CADe), aliados a tecnologias como tomossíntese digital e ultrassonografia automatizada, têm melhorado significativamente a precisão na identificação de lesões. Além disso, a IA tem sido aplicada na classificação das lesões, na determinação dos estágios do câncer e na análise dos tipos moleculares, embora a eficácia dessa ferramenta na triagem ainda dependa de mais estudos clínicos (Hu; Ginger, 2021).

No campo da análise de tecidos, a IA também se destaca no exame de lâminas de biópsia, utilizando algoritmos de visão computacional para identificar células cancerígenas, caracterizar tumores e avaliar a área tumoral (Díaz *et al.*, 2021). Além disso, a aplicação da IA vai além da análise de imagens, estendendo-se à identificação de biomarcadores genéticos e proteômicos, que são essenciais para o diagnóstico precoce e o monitoramento da resposta ao tratamento (Nair *et al.*, 2022).

BENEFÍCIOS DA IA NO RASTREAMENTO DO CÂNCER DE MAMA

Sob a perspectiva da expansão dos programas de rastreamento do câncer de mama, impulsionada por sua comprovada efetividade na detecção precoce, observa-se um aumento contínuo na demanda por exames, bem como na necessidade de profissionais qualificados para interpretar imagens com elevada especificidade e sensibilidade. As recomendações para o rastreamento variam de acordo com as políticas de saúde de cada país, especialmente no que diz respeito à periodicidade (geralmente bienal), à faixa etária indicada (comumente mulheres acima dos 50 anos) e ao método diagnóstico empregado. Além disso, as práticas adotadas pelos radiologistas são influenciadas por diretrizes institucionais e regionais, podendo envolver leitura única ou leitura dupla independente com consenso ou arbitragem (Sechopoulos; Teuwen; Mann, 2021).

A acurácia da IA comparável à dos radiologistas, tem favorecido sua progressiva integração aos programas de rastreamento mamográfico, configurando-se como uma alternativa promissora para a redução da variabilidade interobservadores relacionada à precisão, experiência e eficiência profissional. Além disso, a IA desponta como uma solução viável para a diminuição dos custos operacionais, em virtude de seu potencial de automatização, contrastando com os custos associados à atuação de leitores humanos (Chang *et al.*, 2025). A otimização dos fluxos de trabalho constitui outro benefício relevante, conforme demonstrado por Raya-Povedano *et al.* (2021) em um estudo retrospectivo de coorte. Nesse estudo, a aplicação da IA na interpretação de mamografias digitais (MD) e tomossíntese mamária digital (TMD) resultou em uma redução de 72,5% na carga de trabalho ($P < 0,001$; 156 horas necessárias), sensibilidade não inferior (95 de 113 cânceres detectados; $P = 0,38$) e uma diminuição de 16,7% na taxa de reconvoação ($P < 0,001$; 588 reconvoações em 15.987 exames). Esses resultados evidenciam que a implementação da IA não apenas preserva a qualidade diagnóstica, mas também promove ganhos substanciais em eficiência operacional e redução de recalls desnecessários, otimizando de maneira significativa o desempenho dos programas de rastreamento mamográfico.

Frazer *et al.* (2024) evidenciam que a integração da IA em programas populacionais de rastreamento mamográfico oferece benefícios significativos, particularmente no aprimoramento do desempenho diagnóstico e na otimização dos recursos disponíveis. A utilização da IA como segundo leitor ou em sistemas automatizados de decisão de alta confiança demonstrou a capacidade de manter ou aprimorar a sensibilidade e a especificidade em relação ao modelo convencional de dupla leitura humana, promovendo uma redução expressiva na carga de trabalho dos radiologistas. Especificamente, a substituição do segundo leitor humano pela IA resultou em uma redução de 48,0% no número de leituras necessárias, com ganhos concomitantes de 2,5% na sensibilidade e 0,2% na especificidade. Esse resultado revela benefícios substanciais para programas de rastreamento mamográfico populacional, uma vez que a maior sensibilidade da IA contribui para a detecção precoce de casos de câncer de mama, enquanto a maior especificidade reduz o número de falsos positivos e, consequentemente, de reconvoações desnecessárias.

O estudo também revelou que, ao automatizar a triagem de exames com alto grau de confiança, a IA possibilita uma alocação mais eficiente dos esforços humanos para casos de maior complexidade, otimizando a eficiência operacional sem comprometer a segurança clínica. Ademais, os autores ressaltam que a diminuição da necessidade de leituras humanas pode contribuir para mitigar as pressões sobre a força de trabalho em radiologia, favorecendo a sustentabilidade dos programas de rastreamento em longo prazo (Frazer *et al.*, 2024).

O estudo AI-STREAM, conduzido por Chang *et al.* (2025), investigou a eficácia de um sistema de inteligência artificial (AI-CAD, *AI-based computer-aided detection*) na triagem do câncer de mama por meio de uma análise preliminar de um amplo estudo prospectivo multicêntrico realizado na Coreia do Sul. A investigação avaliou o desempenho de radiologistas especializados em mama (RM) e radiologistas gerais (RG), comparando suas interpretações de mamografias com e sem a assistência da IA. Os resultados demonstraram que o uso do AI-CAD pelos RM aumentou significativamente a taxa de detecção de câncer (5,70 por 1.000 exames), em comparação com a leitura realizada sem o auxílio da IA (5,01 por 1.000 exames), em um modelo de leitura única, sem impactar negativamente a taxa de recall. Observou-se, ainda, que o AI-CAD apresentou desempenho superior na detecção de cânceres com características favoráveis, como tamanho inferior a 20 mm, ausência de metástases linfonodais, subtipo luminal A e baixo grau histológico. Esses achados indicam que a incorporação da IA pode aprimorar a eficácia dos programas de rastreamento mamográfico em cenários clínicos reais, adaptando-se a diferentes contextos de prática médica.

No estudo realizado por Eisemann *et al.* (2025), denominado PRAIM, a implementação da IA em programas populacionais de rastreamento mamográfico demonstrou ganhos relevantes na detecção precoce do câncer de mama. A IA foi associada a um aumento de 17,6% na taxa de detecção de câncer em comparação à prática tradicional de leitura dupla humana, sem aumento significativo na taxa de reconvocação das pacientes. Além disso, o valor preditivo positivo das reconvocações foi superior no grupo com suporte de IA (17,9% vs. 14,9%), indicando maior precisão diagnóstica. A IA também contribuiu para a identificação de tumores menores e casos de carcinoma ductal *in situ*, sugerindo potencial para detectar lesões em estágios mais iniciais. Esses resultados reforçam que a incorporação da IA no rastreamento pode elevar a eficácia dos programas de saúde pública, melhorando a acurácia diagnóstica e reduzindo impactos negativos associados a falsos positivos.

DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA IMPLEMENTAÇÃO DA IA

A introdução de algoritmos de IA no rastreio do câncer de mama representa um avanço promissor na medicina, com potencial para ampliar o acesso, agilizar o diagnóstico e reduzir a mortalidade. No entanto, apesar dos benefícios potenciais, essa implementação ainda enfrenta importantes desafios técnicos, operacionais, éticos e regulatórios, que devem ser cuidadosamente avaliados para garantir sua integração segura e eficaz à prática clínica (Marinovich *et al.*, 2025).

Dentre os principais entraves, destaca-se a limitação técnica dos algoritmos disponíveis. Apesar do uso dessa tecnologia ter se mostrado promissor na detecção de neoplasias mamárias, ainda há grandes limitações como seu alto custo, a dependência de calibração adequada, a incapacidade de estabelecer raciocínios clínicos e sua incapacidade de identificar neoplasias com bordas definidas. Além disso, a escassez de recursos financeiros limita sua implementação em larga escala nos serviços de mamografia em diversos locais do Brasil (Frutuoso *et al.*, 2024).

Nesse sentido, torna-se evidente que a eficácia da IA no rastreamento do câncer de mama depende do aperfeiçoamento contínuo de seus algoritmos. Essa atualização é fundamental para que a tecnologia possa atender às especificidades de cada caso, compreender diferentes níveis de complexidade e identificar imagens com alterações mínimas. Assim, a IA deve estar integrada à prática clínica, complementando o trabalho do radiologista. Essa abordagem colaborativa é especialmente importante diante da alta taxa de falsos positivos, reforçando que a presença do julgamento clínico é indispensável e que a IA não deve ser vista como substituta do profissional de saúde, mas sim como um recurso que contribui para a melhoria na prestação do serviço (Guerreiro *et al.*, 2024).

Complementando essa perspectiva, estudos indicam que a concordância entre leitores humanos é, muitas vezes, superior àquela observada entre humanos e sistemas de IA. Isso aumenta a necessidade de arbitragem nos laudos e, por consequência, reduz a eficiência operacional esperada com o uso da tecnologia. Além disso, a IA tende a gerar mais falsos positivos e quando seus resultados não estão disponíveis ao segundo leitor, torna-se difícil mensurar sua contribuição real para o diagnóstico (Marinovich *et al.*, 2025).

Outro desafio relevante é a correta interpretação dos resultados gerados pela IA. A compreensão equivocada desses dados pode comprometer decisões clínicas importantes. Soma-se a isso a dificuldade na obtenção de dados com alta qualidade e boa representatividade, o que impacta diretamente na eficácia da detecção precoce do câncer de mama (Telles; Barone; Silva, 2020). A interpretação dos achados da IA exige, portanto, cautela para evitar conclusões equivocadas, além da necessidade de interpretação criteriosa dos dados e da mitigação de possíveis vieses que ainda persistem em muitos estudos (Carvalho *et al.*, 2024).

A complexidade se intensifica ainda mais com a integração da IA à análise de biomarcadores moleculares, como os genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos. Embora essa combinação amplie o potencial diagnóstico da tecnologia, ela também enfrenta obstáculos significativos. A heterogeneidade tumoral e a variabilidade entre pacientes dificultam a criação de um modelo padronizado do perfil da doença, enquanto as exigências tecnológicas e estruturais dessas análises tornam sua adoção inviável em ambientes com recursos limitados. Tal cenário acentua desigualdades já existentes no acesso à saúde, restringindo os avanços da IA a contextos mais favorecidos (Lino *et al.*, 2024).

Por fim, além das questões técnicas e operacionais, é fundamental considerar os aspectos éticos e legais envolvidos. Questões como a privacidade dos dados genéticos, a responsabilidade diagnóstica e a automação de decisões clínicas ainda carecem de regulamentação clara. A possibilidade de falhas reforça a necessidade de protocolos de segurança e validação contínua. A aceitação da IA pelos profissionais de saúde também depende do desenvolvimento de diretrizes que assegurem justiça, rastreabilidade, robustez e usabilidade dos sistemas (Díaz; Rodrigues-Ruiz; Sechopoulos, 2024).

PERSPECTIVAS FUTURAS E INTEGRAÇÃO COM A PRÁTICA CLÍNICA

Embora demonstre avanços promissores, a aplicação clínica de algoritmos de IA no rastreio do câncer de mama ainda requer maior validação externa, ou seja, necessita de estudos prospectivos que avaliem o funcionamento desses sistemas fora do âmbito em que foram criados, e em maior escala. Visto que o desempenho desses algoritmos se altera de acordo com os dados que recebem, o que demanda um controle de qualidade contínuo, é importante avaliar o desempenho desses algoritmos quando comparado aos radiologistas especializados em rastreamento mamário, pois é a partir da análise de sua performance isolada que se poderá delimitar o melhor cenário de aplicação clínica (Díaz, Rodrígues-Ruiz, Sechopoulos, 2020; Yoon *et al.*, 2023).

Outrossim, é crucial que esses algoritmos sejam validados em conjuntos de dados representativos, ainda que obtenham eficácia no rastreio do câncer de mama. De acordo com Kundu *et al.* (2025), essa precisão pode variar a depender de fatores específicos como idade, diversidade genética, densidade mamária e diferença nos aparelhos de imagem utilizados.

Diante disso, validar esses sistemas pode garantir mais confiabilidade e eficácia clínica. Ademais, a definição de diretrizes para os pesquisadores e profissionais da saúde que utilizam a IA, contribui para a transparência, a segurança e a aceitação dessas ferramentas na prática médica (Díaz, Rodrígues-Ruiz, Sechopoulos, 2024).

Outro aspecto importante é a integração dos algoritmos de IA aos sistemas de dados de saúde. Dessa maneira, a partir de uma conexão direta entre os bancos de dados de treinamento/diagnóstico das IAs e os bancos de dados dos sistemas de informação em saúde ou dos sistemas de informação hospitalar (HIS), poderá ser criado uma plataforma aprimorada de diagnóstico de câncer de mama que seja de livre acesso e com uma tecnologia de IA robusta (Zheng, He, Jing, 2023).

Nesse contexto, Pellenz *et al.* (2024) evidenciam que para adotar esses sistemas em larga escala é necessário obter um entendimento melhor de suas limitações éticas e operacionais. Conforme Frasca *et al.* (2024), a melhor forma de superar esses entraves seria por meio da adoção de algoritmos de IA explicáveis e interpretáveis na medicina, pois seriam modelos mais compreensíveis. Sendo assim, seu uso de forma legal, ética e segura estaria preservado, e, por ter maior “transparência”, não haveria vieses nas análises dos dados dos pacientes.

A colaboração interdisciplinar, entre os desenvolvedores das IAs e os profissionais de saúde, é a chave para que a implementação desses sistemas no rastreio do câncer de mama seja efetiva. Dado que essa colaboração aliada aos avanços contínuos desses sistemas promove uma medicina personalizada, na qual o cuidado ao paciente é aprimorado (Sarkhel, Pradhan, 2024).

Por fim, apesar de não haver um consenso entre os radiologistas sobre como seria o uso mais adequado da IA no rastreamento (Högberg, Larsson, Lång, 2023), a implementação dessa tecnologia em grande escala terá um impacto considerável na saúde das mulheres, promovendo uma maior assertividade nos diagnósticos (Guerreiro *et al.*, 2024). Dessa forma, deve-se estimular a incorporação da mamografia com suporte de IA às diretrizes dos programas de rastreamento mamográfico (Eisemann *et al.*, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O câncer de mama é o tipo mais comum entre mulheres e apresenta altas taxas de mortalidade, destacando a importância de estratégias eficazes para sua detecção precoce. A IA tem se mostrado uma aliada promissora nesse contexto, especialmente no rastreamento mamográfico. Algoritmos de IA aplicados à interpretação de imagens, como mamografias, têm alcançado precisão comparável à dos radiologistas, contribuindo para maior acurácia diagnóstica, redução da carga de trabalho e otimização dos fluxos operacionais.

Estudos recentes demonstram que a IA pode aumentar a taxa de detecção de câncer, reduzir reconvoações desnecessárias e melhorar a eficiência dos programas populacionais de rastreamento. No entanto, a aplicação clínica da IA ainda enfrenta desafios, como limitações técnicas, altos custos, risco de falsos positivos e questões éticas e regulatórias. A necessidade de validação em cenários clínicos reais e bases de dados representativas é essencial para garantir sua eficácia.

Apesar desses obstáculos, a IA não deve ser vista como substituta do profissional de saúde, mas como ferramenta complementar ao raciocínio clínico. Com desenvolvimento contínuo e integração responsável, a IA pode contribuir significativamente para diagnósticos mais precisos e uma saúde mais acessível e personalizada.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. **Estimativa 2023: incidência do Câncer no Brasil**. Rio de Janeiro: INCA, 2022.

CARVALHO, G. P. et al. Avaliação da precisão diagnóstica de algoritmos de inteligência artificial em mamografias digitais para detecção precoce de câncer de mama. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 8, p. 5065–5072, 2024.

CHANG, Y. W. et al. Artificial intelligence for breast cancer screening in mammography (AI-STREAM): preliminary analysis of a prospective multicenter cohort study. **Nature communications**, v. 16, n. 1, p. 2248, 2025.

DÍAZ, O.; RODRÍGUEZ-RUÍZ, A.; SECHOPoulos, I. Artificial intelligence for breast cancer detection in digital mammography and digital breast tomosynthesis: a review of the current state of the art. **Academic Radiology**, v. 27, n. 4, p. 590–598, 2020.

DÍAZ, O. et al. Are artificial intelligence systems useful in breast cancer screening programs? **Radiologia**, v. 63, n. 3, p. 236–244, 2021.

DÍAZ, O.; RODRÍGUEZ-RUÍZ, A.; SECHOPoulos, I. artificial intelligence for breast cancer detection: technology, challenges, and prospects. **European Journal of Radiology**, v. 175, p. 111457, 2024.

EISEMANN, N. et al. Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. **Nature Medicine**, v. 31, p. 917–924, 2025.

FRASCA, M., et al. Explainable and interpretable artificial intelligence in medicine: a systematic bibliometric review. **Discover Artificial Intelligence**, v. 4, n. 1, p. 15, 2024.

FRAZER, H. M. L. et al. Comparison of AI-integrated pathways with human-AI interaction in population mammographic screening for breast cancer. **Nature communications**, v. 15, n. 1, p. 7525, 2024.

FRUTUOSO, GM. et al. Avanços, desafios e perspectivas futuras no rastreio do câncer de mama: uma mini revisão integrativa. **Revista Educação em Saúde**, v. 12, n. 2, p. 186–193, 2024.

GUERREIRO, A. A. P. et al. Integrando inteligência artificial à mamografia: uma abordagem complementar no diagnóstico do câncer de mama. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 5, p. 479–485, 2024.

HÖGBERG, C.; LARSSON, S.; LÅNG, K. Anticipating artificial intelligence in mammography screening: views of Swedish breast radiologists. **BMJ Health & Care Informatics**, v. 30, n. 1, p. e100712, 2023.

HU, Q.; GIGER, M. L. Clinical artificial intelligence applications: Breast imaging. **Radiologic clinics of North America**, v. 59, n. 6, p. 1027–1043, 2021.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. 13a edição. Cap. 3 p. 61. Rio de Janeiro - RJ: Guanabara Koogan, 2017.

KUNDU, A. K. et al. Detecting and monitoring bias for subgroups in breast cancer detection AI. **ArXiv**, v. abs/2502.10562, 2025.

LINO, L. A. et al. Uso dos biomarcadores na detecção precoce de câncer: uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 8, p. e4013846517, 2024.

MARINOVICH, M. L. et al. Simulated arbitration of discordance between radiologists and artificial intelligence interpretation of breast cancer screening mammograms. **Journal of Medical Screening**, v. 32, n. 1, p. 48–52, 2025.

NAIR, A. et al. Barriers to artificial intelligence implementation in radiology practice: What the radiologist needs to know. **Radiologia**, v. 64, n. 4, p. 324-332, 2022.

PELLENZ, A. E. et al. Aplicação da inteligência artificial no diagnóstico e monitoramento do câncer de mama: uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Health Review**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. e73198, 2024.

RAYA-POVEDANO, J. L. et al. AI-based strategies to reduce workload in breast cancer screening with mammography and tomosynthesis: a retrospective evaluation. **Radiology**, v. 300, n. 1, p. 57–65, 2021.

SANTIAGO, H. T. M. R. et al. O uso da inteligência artificial no rastreio e diagnóstico de diferentes tipos de câncer. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 7, p. e4994, 2024.

SARKHEL, D.; PRADHAN, U. Future perspectives on AI in breast cancer detection: a mini review. **Journal of Artificial Intelligence and Robotics**, v. 1, n. 3, p. 1-5, 2024.

SECHOPPOULOS, I.; TEUWEN, J.; MANN, R. Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: state of the art. **Seminars in Cancer Biology**, v. 72, p. 214–225, 2021.

TELLES, E. S. BARONE, D. A. C.; SILVA, A. M. Inteligência artificial no contexto da indústria 4.0. **Anais do I Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade**. SBC, 2020.

TOPOL, E. **Deep medicine**: how artificial intelligence can make healthcare human again. New York: Basic Books, 2019.

YOON, J. H. *et al.* Standalone AI for breast cancer detection at screening digital mammography and digital breast tomosynthesis: a systematic review and meta-analysis. **Radiology**, v. 307, n. 1, p. e222639, 2023.

ZHENG, D.; HE, X.; JING, J. Overview of artificial intelligence in breast cancer medical imaging. **Journal of Clinical Medicine**, v. 12, n. 2, p. 419, 2023.