



INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA CITOLOGIA CERVICAL: AVALIAÇÃO DE MODELOS DE IA PARA RASTREIO DO CÂNCER DE COLO DO ÚTERO

Cavalcanti, SNC¹; Andrade, SMBO¹; Valença, IGA¹; Santo, JJE¹; Nunes, GCT¹; Silva, HG¹; Arruda, ENT¹; Silva, IC¹; Silva Neto, JC¹

¹Laboratório de Pesquisas Citológicas e Moleculares (LPCM), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife - PE

Eixos temáticos: Tecnologias e Educação em saúde

RESUMO

O câncer de colo do útero é uma importante causa de morbimortalidade feminina, e a triagem citológica é essencial para detecção precoce, embora dependa da experiência do citopatologista. A Inteligência Artificial (IA) surge como ferramenta promissora para automatizar e padronizar a análise de esfregaços cervicais. Esta revisão sistemática incluiu quatro estudos originais entre 2020 e 2025, avaliando redes neurais convolucionais e híbridas em lâminas convencionais e em base líquida. Os modelos demonstraram elevada acurácia e sensibilidade, frequentemente superando o desempenho humano. Apesar do potencial, desafios como padronização de bases de dados, validação multicêntrica e integração clínica ainda limitam a aplicação rotineira. Conclui-se que a IA pode otimizar a triagem citológica, mas exige validação robusta e padronização metodológica para uso seguro e eficaz.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Câncer de Colo Uterino; Redes Neurais Convolucionais; Aprendizado de Máquina; Diagnóstico por Imagem;

Agências Financiadoras: Não se aplica.

INTRODUÇÃO

O câncer de colo do útero permanece um importante problema de saúde pública mundial, sendo uma das principais causas de morbimortalidade entre mulheres, especialmente em países de renda média e baixa. A detecção precoce, por meio da triagem citológica, é fundamental para reduzir a incidência e a mortalidade associadas a essa doença (Swanson & Pantanowitz, 2024). Tradicionalmente, o Papanicolaou tem sido o exame padrão de rastreamento, mas sua interpretação depende fortemente da experiência do

citopatologista e está sujeita à variabilidade interobservador (Harinath *et al.*, 2025; Bai *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, a Inteligência Artificial emergiu como uma ferramenta promissora para automatizar e padronizar a análise de esfregaços cervicais, oferecendo potencial para melhorar a precisão diagnóstica, reduzir erros humanos e otimizar fluxos de trabalhos laboratoriais (Wang *et al.*, 2024). Diversos modelos, incluindo redes neurais convolucionais e arquiteturas híbridas têm sido aplicados para identificar células anormais, classificar graus de displasia e detectar lesões precursoras de câncer (Li *et al.*, 2021; Ouh *et al.*, 2024).

Além da acurácia, estudos recentes enfatizam a necessidade de avaliar a robustez, generalização e aplicabilidade clínica desses sistemas, considerando a heterogeneidade das amostras e a variabilidade das bases de dados (Kurita *et al.*, 2024; Sahin; Arslan; Özdemir, 2025). A integração da IA na citologia cervical, portanto, representa um avanço tecnológico, mas ainda requer validação multicêntrica e padronização das bases de dados para garantir segurança e eficácia no rastreamento de rotina do câncer do colo do útero.

Então, este estudo tem como objetivo avaliar as aplicações da IA na citologia cervical, com ênfase em modelos de aprendizado de máquina e redes neurais para detecção de células anormais e rastreamento do câncer de colo do útero, considerando os tipos de arquitetura, bases de dados utilizadas, desempenho dos modelos e limitações metodológicas.

METODOLOGIA

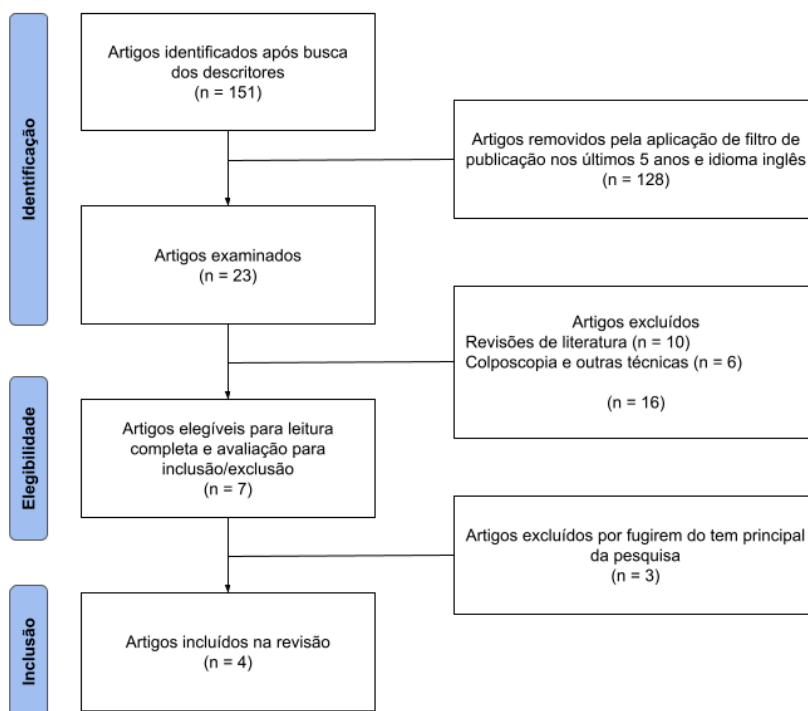
Foi realizada uma revisão sistemática da literatura entre agosto e setembro de 2025, por meio da base de dados Pubmed (NCBI), segundo os itens das *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Como estratégia de busca, foram aplicados os descritores: (AI [All fields]) AND (cervical cancer [All fields]) AND (pap test [All fields]) (*Filters: in the last 5 years*). Para serem incluídos nessa revisão, os artigos deveriam ser relativos à aplicação de IA na análise citológica e publicados em língua inglesa entre 2020 e 2025, sendo disponível para acesso livre.

Foram excluídos os artigos de revisão, outros estudos voltados para colposcopia e outros métodos de imagem, além daqueles que não envolviam o teste de Papanicolaou ou citologia cervical. Foram incluídos estudos dedicados ao desenvolvimento e à validação de arquiteturas de redes neurais profundas aplicadas à análise de citologia cervical. Os artigos foram examinados de forma sistemática, considerando a natureza dos modelos de IA proposto (classificação, segmentação ou detecção), as bases de dados empregados no treinamento e teste, e as métricas quantitativas de avaliação (como acurácia, sensibilidade, especificidade e AUC) utilizadas para mensurar o desempenho preditivo dos sistemas de IA.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados 151 artigos, excluídos 128 devido ao critério de publicação nos últimos 5 anos. Os 23 artigos que cumprem este critério foram examinados, retirando as revisões, sendo selecionados apenas 7 artigos para leitura completa. Dentre esses, 3 foram excluídos devido à apresentação de outro tema de pesquisa, ficando, ao final, 4 artigos para compor essa revisão. A Figura 1 ilustra o fluxograma de triagem dos artigos para essa revisão, conforme as orientações do PRISMA.

Figura 1: Fluxograma para revisão sistemática PRISMA 2020.



Os estudos incluídos avaliaram a aplicação de redes neurais convolucionais (CNNs) e de modelos híbridos de aprendizagem profunda na análise automatizada de lâminas citológicas cervicais, com o objetivo de otimizar a triagem de amostras e reduzir a variabilidade interobservador (Bai *et al.*, 2024; Harinath *et al.*, 2025). A maioria dos trabalhos utilizou bancos de imagens digitais obtidos de esfregaços cervicais convencionais ou em base líquida, com diferentes graus de anotação manual e segmentação celular (Li *et al.*, 2021; Yung-Taek Ouh *et al.*, 2024). A Tabela 1 reúne as informações demonstradas pelos artigos selecionados quanto ao desempenho da IA para comparação.

Tabela 1: Comparação dos modelos de IA aplicados à citologia cervical

Autor/ano	Modelo de IA	Base de dados	Métricas de avaliação
Xia Li <i>et al.</i> , 2021 (PMID 34590614)	DGCA-RCNN (<i>Deformable and Global Context-Aware Faster RCNN-FPN</i>) — incorpora convoluções deformáveis e módulo de contexto global	Alibaba Cloud TianChi “Digital Human Body” Vision Challenge Dataset (conjunto público de imagens cervicais)	mAP: aumento de 6–9%; ROC: melhora na AUC em relação ao modelo RCNN-FPN convencional
Harinath <i>et al.</i> , 2025 (PMID: 11695705)	Hologic Genius Digital Diagnostics System (IA assistida)	Esfregaços cervicais humanos N = 8.000 imagens	Sensibilidade HSIL: 94,6%; Variabilidade interobservador analisada



Bai <i>et al.</i> , 2024 (PMID: 38263154)	Sistema assistivo AIcyte, utilizado com o scanner Ruiqian WSI-2400, para rastreamento de citologia cervical (ThinPrep)	Esfregaços cervicais líquidos (ThinPrep) N = 10.000 imagens	Sensibilidade: 94,9%; Especificidade: 95,1%; Acurácia: 95,0%
Yung-Taek Ouh <i>et al.</i> , 2024 (PMID:38263154)	CerviCARE AI	400 imagens validadas de telecervicografia (200 positivas e 200 negativas)	Sensibilidade geral: 97,5%; Especificidade geral: 95,5%; Sensibilidade HSIL/CIN2+: 98,0%; Especificidade lesões negativas: 95,5%

De modo geral, os algoritmos propostos apresentaram elevada acurácia e sensibilidade para a detecção de anormalidades cervicais, frequentemente superando o desempenho humano em tarefas específicas de classificação de células. Os modelos de aprendizagem profunda supervisionada mostraram desempenho médio superior a 90% de acurácia, enquanto abordagens mais recentes, que integram mecanismos de atenção e aprendizado leve, demonstraram vantagens em termos de velocidade de processamento e eficiência computacional.

Os modelos supervisionados apresentaram desempenho elevado na triagem de células cervicais. Bai *et al.* (2024) relataram, em 10 mil imagens de ThinPrep, sensibilidade de 94,9%, especificidade de 95,1% e acurácia de 95,0%, indicando alta confiabilidade na detecção de células anormais. Harinath *et al.* (2025), avaliando cerca de 8 mil imagens, observaram sensibilidade de 94,6% para lesões intraepiteliais escamosas de alto grau (HSIL), destacando a consistência da IA na identificação de lesões de maior risco. Li *et al.* (2021) demonstraram que o modelo DGCA-RCNN, que combina camadas convolucionais deformáveis e módulo de contexto global, aumentou de 6–9% *mean average precision* (mAP), com desempenho adicional avaliado via curva ROC. Yung-Taek Ouh *et al.*, (2024) com o CerviCARE AI em 400 imagens de telecervicografia, relataram sensibilidade geral de 97,5%, especificidade geral de 95,5%, sensibilidade para HSIL/CIN2+ de 98,0% e especificidade de lesões negativas de 95,5%, reforçando a aplicabilidade da IA em triagem automatizada de células cervicais.

Os resultados dos quatro estudos indicam que o uso da inteligência artificial permite identificar precocemente lesões de alto risco e reduzir a variabilidade entre avaliadores humanos, proporcionando uma triagem mais padronizada e eficiente. Além disso, os sistemas avaliados mostraram potencial para integrar-se aos fluxos laboratoriais, auxiliando na priorização de casos e otimização do tempo de análise sem comprometer a sensibilidade ou a especificidade. Apesar desses avanços, os autores destacam a necessidade de validação em diferentes populações e contextos clínicos, assim como a importância de padronizar os conjuntos de imagens utilizadas para treinamento e avaliação das ferramentas de IA.

CONCLUSÃO

A Inteligência Artificial aplicada à citologia cervical demonstrou desempenho elevado na detecção de células anormais, com alta sensibilidade e especificidade na triagem de lesões de baixo grau e alto risco. Os sistemas avaliados apresentaram confiabilidade consistente e capacidade de identificar precocemente alterações celulares importantes. Apesar de resultados promissores, ainda existem desafios relacionados à padronização das bases de imagens, à validação clínica multicêntrica e à integração desses sistemas nos

fluxos de trabalho laboratoriais de rotina. A incorporação da IA no rastreamento citopatológico cervical possui potencial para aumentar a eficiência diagnóstica, reduzir tempo e custos de análise e padronizar a triagem, desde que acompanhada de validação e regulamentação adequada.

REFERÊNCIAS

BAI, X.; et al. Assessment of Efficacy and Accuracy of Cervical Cytology Screening With Artificial Intelligence Assistive System. *Modern Pathology: An Official Journal of the United States and Canadian Academy of Pathology, Inc.*, v. 37, n. 6, p. 100486, 2024.

HARINATH, L.; et al. Analysis of the sensitivity of high-grade squamous intraepithelial lesion Pap diagnosis and interobserver variability with the Hologic Genius Digital Diagnostics System. *Cancer Cytopathology*, v. 133, n. 1, p. e22918, 2025.

KURITA, Y.; et al. Enhancing cervical cancer cytology screening via artificial intelligence innovation. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 19535, 2024.

LI, X.; et al. Detection of Cervical Cancer Cells in Whole Slide Images Using Deformable and Global Context Aware Faster RCNN-FPN. *Current Oncology (Toronto, Ont.)*, v. 28, n. 5, p. 3585–3601, 2021.

OUH, Y.-T.; et al. Development and validation of artificial intelligence-based analysis software to support screening system of cervical intraepithelial neoplasia. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 1957, 2024.

SAHIN, E.; ARSLAN, N. N.; ÖZDEMİR, D. Unlocking the black box: an in-depth review on interpretability, explainability, and reliability in deep learning. *Neural Computing and Applications*, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 859–965, 2025.

SWANSON, A. A.; PANTANOWITZ, L. The evolution of cervical cancer screening. *Journal of the American Society of Cytopathology*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 10–15, 2024.

WANG, Jue; et al. Artificial intelligence enables precision diagnosis of cervical cytology grades and cervical cancer. *Nature Communications*, v. 15, n. 1, p. 4369, 2024.