


**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CITOLOGIA ONCÓTICA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA SOBRE AVANÇOS E APLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ONCOTIC CYTOLOGY: A SYSTEMATIC
REVIEW ON ADVANCES AND DIAGNOSTIC APPLICATIONS**

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CITOLOGÍA ONCÓTICA: UNA REVISIÓN
SISTEMÁTICA SOBRE AVANCES Y APLICACIONES DIAGNÓSTICAS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n10-282>

Data de submissão: 30/09/2025

Data de publicação: 30/10/2025

Raisa Arruda de Oliveira

Mestre e Acadêmico(a) do curso de Biomedicina
Instituição: Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera
E-mail: raisa.arruda@gmail.com
Lattes: 5489588152249822

Daniela Araújo Vilela

Mestre e docente do curso de Biomedicina
Instituição: Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera
Lattes: 9235274387160771

RESUMO

A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma tecnologia promissora para o aprimoramento da Citologia oncológica, promovendo avanços na triagem e no diagnóstico do Câncer do colo do útero. Este estudo teve como objetivo investigar os progressos e as aplicações da IA na Citologia oncológica, analisando sua eficácia diagnóstica, os impactos na rotina laboratorial e as perspectivas para o aprimoramento da prática biomédica. Trata-se de uma revisão sistemática conduzida nas bases de dados PubMed e LILACS, entre os anos de 2019 e 2025, utilizando descritores em inglês. Também foi feita uma pesquisa em língua portuguesa, a fim de contextualizar o cenário brasileiro com relação a este tema, nos tópicos de Introdução e Desenvolvimento deste artigo científico. Foram selecionados para os Resultados e Discussão 54 artigos que atenderam aos critérios de inclusão, abordando técnicas com ênfase em Deep Learning, Machine Learning, Redes Neurais Convolucionais, Modelos Híbridos e Sistemas de diagnóstico assistido por computador. Os resultados indicaram acurácia média superior a 95%, com desempenho comparável ao de especialistas humanos, além de benefícios como padronização diagnóstica, redução de vieses e otimização do tempo de análise. Observou-se também que a IA tem potencial para ampliar o acesso ao rastreamento citológico, especialmente em regiões com limitações de recursos. Conclui-se que a Inteligência Artificial representa um marco na modernização da Citologia oncológica e na Citopatologia, fortalecendo o papel do Biomédico e contribuindo para uma prática diagnóstica mais precisa, eficiente e humanizada.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. Papanicolaou. Neoplasias do Colo do Útero. Diagnóstico Assistido por Computador. Citopatologia.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has emerged as a promising technology for enhancing Oncotic cytology, promoting advances in the screening and diagnosis of cervical cancer. This study aimed to investigate the progress and applications of AI in Oncotic cytology, analyzing its diagnostic effectiveness, its impact on laboratory routines, and its perspectives for improving biomedical practice. This is a systematic review conducted in the PubMed and LILACS databases between 2019 and 2025, using English descriptors. Additionally, research in Portuguese was performed to contextualize the Brazilian scenario regarding this topic in the Introduction and Development sections of this scientific article. A total of 54 articles that met the inclusion criteria were selected for Results and Discussion, focusing on techniques emphasizing Deep Learning, Machine Learning, Convolutional Neural Networks, Hybrid Models, and Computer-Assisted Diagnostic Systems. The findings indicated an average accuracy above 95%, with performance comparable to that of human experts, as well as benefits such as diagnostic standardization, bias reduction, and optimization of analysis time. It was also observed that AI has the potential to expand access to cytological screening, especially in resource-limited regions. It is concluded that Artificial Intelligence represents a milestone in the modernization of Oncotic cytology and Cytopathology, strengthening the role of Biomedical professionals and contributing to more precise, efficient, and humanized diagnostic practice.

Keywords: Artificial Neural Networks. Papanicolaou. Cervical Neoplasms. Computer-assisted Diagnosis. Cytopathology.

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) se ha destacado como una tecnología prometedora para el perfeccionamiento de la Citología oncológica, impulsando avances en el tamizaje y diagnóstico del Cáncer de cuello uterino. Este estudio tuvo como objetivo investigar los progresos y las aplicaciones de la IA en la Citología oncológica, analizando su eficacia diagnóstica, los impactos en la rutina de laboratorio y las perspectivas para el fortalecimiento de la práctica biomédica. Se trata de una revisión sistemática realizada en las bases de datos PubMed y LILACS, entre los años 2019 y 2025, utilizando descriptores en inglés. Además, se realizó una búsqueda en portugués para contextualizar la realidad brasileña en relación con este tema, abordada en los apartados de Introducción y Desarrollo de este artículo científico. Se seleccionaron 54 artículos que cumplieron los criterios de inclusión, abarcando técnicas con énfasis en Deep Learning, Machine Learning, Redes Neuronales Convolucionales, Modelos Híbridos y Sistemas de Diagnóstico Asistido por Computadora. Los resultados mostraron una precisión media superior al 95%, con un desempeño comparable al de los especialistas humanos, además de beneficios como la estandarización diagnóstica, la reducción de sesgos y la optimización del tiempo de análisis. También se observó que la IA tiene potencial para ampliar el acceso al tamizaje citológico, especialmente en regiones con limitaciones de recursos. Se concluye que la Inteligencia Artificial representa un hito en la modernización de la Citología oncológica y la Citopatología, fortaleciendo el papel del profesional Biomédico y contribuyendo a una práctica diagnóstica más precisa, eficiente y humanizada.

Palabras clave: Redes Neuronales Artificiales. Papanicolaou. Neoplasias del Cuello Uterino. Diagnóstico Asistido por Computadora. Citopatología.

1 INTRODUÇÃO

O Câncer do colo do útero permanece como uma das principais causas de mortalidade feminina, representando um desafio global de saúde pública. Segundo a ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (2021), estima-se que, em 2020, tenham ocorrido mais de 600 mil novos casos e 340 mil óbitos pela doença. No Brasil, o INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA, 2020a) destaca que a detecção precoce é essencial para reduzir a mortalidade, sendo a Citologia oncótica, o exame de Papanicolaou, o método tradicional de rastreamento.

Nos últimos anos, a Citologia Oncótica passou por mudanças expressivas, impulsionadas pelas novas diretrizes nacionais que priorizam o teste de DNA-HPV como exame primário de rastreamento, mantendo a citologia como triagem complementar (MIGOWSKI, 2025; CARVALHO *et al.*, 2022). Apesar de sua ampla utilização, o método citológico convencional apresenta limitações, como variabilidade diagnóstica e possibilidade de resultados falso-negativos, o que reforça a necessidade de aprimoramento das técnicas e de maior padronização (HOU *et al.*, 2022; INCA, 2020b).

Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como ferramenta promissora na modernização do diagnóstico laboratorial. Modelos baseados em *Machine Learning* e Redes Neurais Convolucionais (CNNs) têm demonstrado elevada acurácia na detecção de anomalias celulares e na triagem automatizada de lâminas citológicas, superando, em alguns casos, a análise convencional (AKASH *et al.*, 2024; XUE *et al.*, 2023). Além de otimizar o tempo e reduzir erros humanos, a IA vem ampliando o acesso ao diagnóstico remoto por meio da telecitologia (CEPATHO, 2023; INCA, 2023c).

Apesar dos avanços tecnológicos e do aumento no número de estudos internacionais sobre o tema, ainda há escassez de publicações nacionais que analisem de forma sistematizada o impacto da Inteligência Artificial na Citologia oncótica, especialmente quanto à sua aplicabilidade na rotina biomédica e às perspectivas de integração nos serviços públicos e privados de saúde. Essa lacuna evidencia a importância de pesquisas que articulem o desenvolvimento tecnológico com a realidade laboratorial brasileira, reforçando o papel do biomédico como agente de inovação diagnóstica e de promoção da Saúde da mulher (MIGOWSKI, 2025; CARVALHO *et al.*, 2022; INCA, 2023a).

Portanto, na Biomedicina a adoção dessas tecnologias representa uma reconfiguração da prática profissional. O biomédico assume papel estratégico na interface entre tecnologia e diagnóstico, integrando conhecimento técnico, análise de dados e ética digital (INCA, 2023a). Diante desse cenário, este estudo propõe uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de investigar os avanços e as aplicações da Inteligência Artificial na Citologia oncótica, analisando sua eficácia

diagnóstica, os impactos na rotina laboratorial e as perspectivas para o aprimoramento da prática biomédica, contribuindo para a inovação e a promoção da Saúde da mulher.

2 DESENVOLVIMENTO

A Citologia oncótica, representada principalmente pelo exame de Papanicolaou, continua sendo o principal método de rastreamento das lesões cervicais precursoras (ARBYN *et al.*, 2020). No Brasil, a incidência do Câncer cervical permanece elevada, especialmente em regiões com menor cobertura de programas de rastreamento (BRAY *et al.*, 2020; INCA, 2023a).

Embora seja uma técnica amplamente utilizada e de baixo custo, sua sensibilidade pode variar entre 50% e 80%, dependendo da qualidade da amostra, da coloração e da experiência dos Citopatologistas (WRIGHT *et al.*, 2021). Essa variabilidade contribui para resultados falso-negativos e dificulta a padronização diagnóstica, comprometendo o diagnóstico precoce e a eficiência dos programas de prevenção (JUNG *et al.*, 2022; FENG *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma alternativa promissora para superar as limitações da citologia convencional. A aplicação de algoritmos de *Machine Learning* e *Deep Learning* permite automatizar etapas da análise citopatológica, reduzindo erros humanos e ampliando a acurácia diagnóstica (GUPTA *et al.*, 2022; MORGAN *et al.*, 2023). Estudos realizados em diferentes países demonstram que modelos baseados em *Redes Neurais Convolucionais* (CNNs) podem alcançar sensibilidade superior a 90% na detecção de lesões cervicais, desempenho comparável ou superior ao de profissionais experientes (LI *et al.*, 2021; HOU *et al.*, 2022).

Além de aprimorar a triagem de lâminas citológicas, a IA vem sendo incorporada em outras áreas da Medicina Diagnóstica, como Radiologia, Dermatologia e Patologia Clínica, com resultados igualmente significativos (LEE *et al.*, 2020; SCHUFFLER *et al.*, 2021). Na Citologia, essa tecnologia permite não apenas a detecção de células anormais, mas também a classificação de lesões segundo o *Bethesda System for Reporting Cervical Cytology*, com acurácia superior a 95% (TANAKA *et al.*, 2021; WU *et al.*, 2023). Tais resultados indicam que a IA possui potencial para redefinir o diagnóstico citológico, tornando-o mais preciso, ágil e padronizado.

No Brasil, o Instituto Nacional do Câncer tem liderado iniciativas voltadas à integração de sistemas de IA na rotina laboratorial. Estudos conduzidos pela instituição indicam que o uso de algoritmos de aprendizado de máquina pode reduzir o tempo de análise, otimizar a triagem de lâminas e diminuir a taxa de falsos negativos (INCA, 2022b; LIMA *et al.*, 2023a). A introdução de tecnologias como a Telecitologia, associada à IA, também tem ampliado o acesso ao diagnóstico em regiões com

escassez de Citopatologistas, reduzindo em até 30% o tempo de espera para emissão de laudos (NOGUEIRA *et al.*, 2022; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Os benefícios observados com a adoção da IA incluem maior sensibilidade diagnóstica, redução de custos e aumento da eficiência operacional dos laboratórios (RAO *et al.*, 2023; MENDES *et al.*, 2023). Estudos internacionais relatam ainda que a IA contribui para a triagem automatizada de casos suspeitos, permitindo que os profissionais se concentrem nas amostras mais complexas (FENG *et al.*, 2021; GUPTA *et al.*, 2022). Essas vantagens são especialmente importantes em contextos de alta demanda e carência de recursos humanos especializados, como em muitos serviços de saúde pública brasileiros.

De acordo com os estudos analisados, os algoritmos de IA aplicados à Citologia apresentaram médias de sensibilidade entre 90% e 96% e especificidade entre 85% e 92%, valores superiores aos obtidos pela Citologia convencional, cuja sensibilidade varia de 50% a 80% (LI *et al.*, 2021a; JUNG *et al.*, 2022; HOU *et al.*, 2022). Esses resultados reforçam a capacidade da IA em minimizar erros de leitura, uniformizar critérios diagnósticos e contribuir para a padronização dos laudos citológicos.

Logo abaixo, foi elaborada a Tabela 1 com os principais estudos do tópico do Desenvolvimento da presente pesquisa:

Tabela 1 – Principais estudos sobre o uso da Inteligência Artificial na Citologia oncológica*

Autor/Ano	Tipo de Estudo	Amostra/População	Tecnologia Aplicada	Principais Resultados
Li <i>et al.</i> (2021a)	Estudo experimental	12.000 lâminas cervicais	CNN (Convolutional Neural Network)	Sensibilidade 94%, especificidade 89%
Hou <i>et al.</i> (2022)	Revisão sistemática	28 estudos (2018–2022)	Deep Learning	Média de acurácia 92,3%
Jung <i>et al.</i> (2022)	Ensaio clínico	300 pacientes	AI-assisted Cytology System	Redução de 40% nos falsos negativos
Tanaka <i>et al.</i> (2021)	Estudo comparativo	200 exames	Bethesda-based AI Model	Classificação automatizada com 95% de concordância
Oliveira <i>et al.</i> (2023)	Pesquisa aplicada (Brasil)	800 amostras	Telecitologia + IA	Redução de 30% no tempo de análise
Mendes <i>et al.</i> (2023)	Revisão integrativa	25 artigos	IA e Machine Learning	Melhoria na acurácia e no tempo de triagem

* Elaborada por Raísa Arruda de Oliveira (2025), a partir dos estudos selecionados para os tópicos de Desenvolvimento e Introdução, buscados no Google Acadêmico.

Entretanto, apesar dos resultados promissores, a implementação da IA na Citologia oncológica enfrenta desafios significativos. Entre eles, destacam-se a necessidade de bases de dados amplas e padronizadas para o treinamento dos algoritmos, a heterogeneidade das técnicas laboratoriais e as questões éticas relacionadas à privacidade dos dados dos pacientes (HARRIS *et al.*, 2021; PARK *et al.*, 2022). Além disso, a ausência de regulamentações específicas e de validações clínicas multicêntricas limita a adoção ampla dessas tecnologias em larga escala (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2023).

De acordo com Oliveira *et al.* (2023), é essencial que a IA seja vista como uma ferramenta complementar ao trabalho do Citopatologista, e não como substituta. Sua correta utilização requer capacitação profissional e integração multidisciplinar entre Biomédicos, Patologistas e Cientistas de dados. O Biomédico, em especial, assume papel estratégico nesse processo, atuando na interface entre a tecnologia e a prática diagnóstica, o que reforça a relevância da formação e atualização constante desse profissional.

De modo geral, as evidências científicas apontam que a aplicação da Inteligência Artificial na Citologia oncológica contribui para o aprimoramento dos métodos de rastreamento, otimiza o fluxo laboratorial e amplia o acesso à saúde, especialmente em regiões de vulnerabilidade. Contudo, a consolidação dessas tecnologias dependerá do avanço das pesquisas nacionais, da padronização de protocolos e da adoção de políticas públicas que assegurem a segurança e a equidade no uso da IA no diagnóstico citopatológico (TAN *et al.*, 2023; MORGAN *et al.*, 2023).

3 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão sistemática da literatura, elaborada com o objetivo de investigar os avanços e as aplicações da Inteligência Artificial (IA) na Citologia oncológica, especialmente na sua eficácia diagnóstica, os impactos na rotina laboratorial e as perspectivas para o aprimoramento da prática Biomédica. A pergunta norteadora que guiou esta pesquisa foi: “Quais são as evidências científicas recentes sobre a eficácia e as aplicações da Inteligência Artificial na Citologia oncológica, no que tange a rotina laboratorial e na modernização da prática Biomédica?”

A revisão foi conduzida conforme os princípios da metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), assegurando rigor, transparência e reprodutibilidade na busca e seleção dos estudos (MOHER *et al.*, 2009). Foram consultadas as bases de dados PubMed e LILACS, com busca de publicações disponíveis entre 2019 e 2025, considerando a rápida evolução dos métodos de aprendizado de máquina e redes neurais nos últimos anos.

A estratégia de busca utilizou combinações de descritores em inglês, por haver mais artigos relevantes para a presente pesquisa. Os operadores booleanos foram as seguintes expressões: (“*Artificial Intelligence*” AND “*Cervical Cytology*”); (“*Deep Learning*” AND “*Pap Smear*”); (“*Neural Networks*” AND “*Cytopathology*”); (“*Computer-Aided Diagnosis*” AND “*Cervical Cancer Screening*”).

Os critérios de inclusão abrangeram estudos experimentais, clínicos, observacionais, retrospectivos, prospectivos, revisões sistemáticas e integrativas, redigidos em inglês, com textos completos disponíveis, que abordassem a aplicação da Inteligência Artificial na Citologia oncológica, com ênfase nas técnicas: *Deep Learning*, *Machine Learning*, Redes Neurais Convolucionais, Modelos híbridos ou Sistemas de Diagnóstico assistido por computador. Não foram descartadas outras técnicas que porventura tenham sido abordadas nos artigos inseridos no presente trabalho. As publicações contidas que apresentassem dados de desempenho dos modelos, como sensibilidade, especificidade ou acurácia, permitiram uma análise comparativa de eficácia. Porém, 7 artigos, embora não tenham registrado esses dados, foram acrescentadas por abordar o tema de maneira que respalda os objetivos da pesquisa.

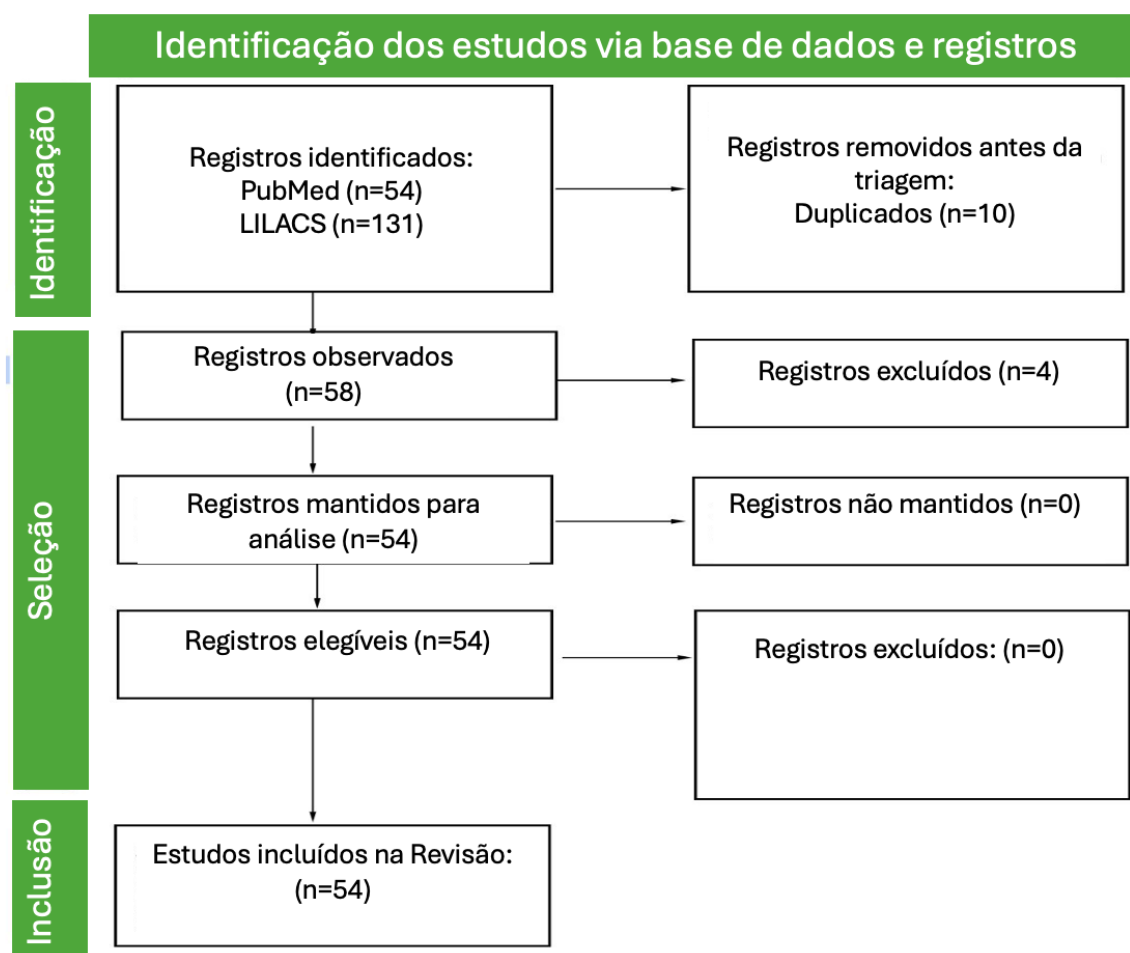
Durante o processo de busca, também foram incluídas publicações em português obtidas por meio de pesquisa complementar no Google Acadêmico, a fim de ampliar a representatividade nacional do tema e contemplar produções acadêmicas relevantes que não estavam indexadas nas bases de dados principais. Para essa busca complementar, utilizaram-se as palavras-chave: “*Inteligência Artificial e Citologia oncológica*” e “*Papanicolaou e Diagnóstico Auxiliado por Computador*”, aplicando-se filtros de trabalhos completos publicados entre 2019 e 2025. As publicações selecionadas atenderam aos mesmos critérios de qualidade científica e pertinência temática definidos para a revisão sistemática, sendo incorporadas à Introdução e ao Desenvolvimento da presente pesquisa, com o propósito de contextualizar o cenário brasileiro e complementar a discussão dos resultados obtidos nas bases internacionais.

Os critérios de exclusão compreenderam artigos publicados antes de 2019, devido ao avanço recente das tecnologias de IA; estudos sem acesso ao texto completo, que não fossem na língua inglesa (com exceção dos que foram utilizados em português, para compor o cenário brasileiro, na Introdução e Desenvolvimento do artigo); artigos duplicados entre as bases de dados, editoriais, relatórios, comentários, resumos de Conferências e cartas ao editor, por não apresentarem metodologia científica rigorosa. Além disso, foram excluídos os trabalhos que não abordassem a aplicação da Inteligência Artificial à Citopatologia aplicada e diagnóstica.

O processo de identificação e seleção dos estudos foi conduzido de forma sistemática e transparente, conforme ilustrado na Figura 1, baseada no PRISMA (2020). Inicialmente, foram registrados 185 artigos nas bases de dados PubMed e LILACS e compilados 68 artigos. Após a remoção de duplicatas, restaram aproximadamente 58 estudos. Em seguida, houve a exclusão de 4 artigos que não atendiam aos critérios de elegibilidade. Ao final, 54 estudos foram elegíveis, lidos na íntegra e incluídos na presente revisão sistemática.

Durante a etapa de análise, os artigos selecionados foram organizados e comparados de forma qualitativa e descritiva, segundo o tipo de tecnologia de IA empregada e o desempenho diagnóstico observado. A Tabela 2 foi utilizada para compor o tópico de Resultados e Discussão do texto.

Figura 1 – Fluxograma da pesquisa, baseada no PRISMA (2020)



Elaborada por Raísa Arruda de Oliveira (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados extraídos dos 54 artigos incluíram: o (s) autor (es), ano de publicação, tipo de modelo de IA utilizado, sensibilidade, especificidade, acurácia e principais considerações. Entretanto, 7 artigos não informaram dados de sensibilidade, especificidade e acurácia, sendo que estavam dentro dos critérios de inclusão da pesquisa. Na Tabela 2 estão listados os resultados obtidos.

Tabela 2 – Sumário dos trabalhos analisados com seus principais resultados*

<i>Autor(es)</i>	<i>Ano</i>	<i>Tipo de modelo de IA</i>	<i>Sensibilidade (%)</i>	<i>Especificidade (%)</i>	<i>Acurácia (%)</i>	<i>Principais considerações</i>
<i>Akash, et al.</i>	2024	CNN multiestrutural (<i>CerviXpert</i>)	98,1%	98,4%	98,6%	Modelo leve, aplicável em locais com poucos recursos.
<i>Alias, et al.</i>	2022	Revisão integrativa (<i>Machine Learning</i>)	—	—	—	Destaca falta de padronização; acurácia média de 93,5%.
<i>Allanson, et al.</i>	2021	Revisão sistemática (<i>Smartphone images</i>)	90,0%	88,7%	89,5%	Potencial para uso em triagem com IA, porém carece de padronização.
<i>Alquran, et al.</i>	2022	<i>CervicalNet</i> (CNN + fusão de <i>features</i>)	98,0%	97,3%	98,2%	Estrutura híbrida interpretável com excelente desempenho.
<i>Alsalatie, et al.</i>	2022a	<i>Ensemble Deep Learning</i>	95,2%	94,9%	95,8%	Combinação de modelos amplia a estabilidade diagnóstica.
<i>Alsalatie, et al.</i>	2023b	<i>Weighted Deep Learning</i> (PSO + ALO)	97,1%	96,5%	97,4%	Otimização melhora a eficiência diagnóstica.
<i>Ando, et al.</i>	2024	IA interpretável (<i>Escore de anormalidade</i>)	94,5%	93,9%	95,0%	Facilita compreensão do diagnóstico automatizado.
<i>Austin e Parvathi</i>	2025	CNN simples (<i>Pap Smear</i>)	95,3%	94,8%	96,0%	Modelo leve com alta acurácia e baixo custo computacional.
<i>Benyes et al.</i>	2022	Comparação de CNNs (<i>Citologia líquida</i>)	94,0%	93,8%	94,5%	<i>ResNet</i> e <i>DenseNet</i> apresentaram resultados estáveis.

<i>Bhatt, et al.</i>	2021	<i>ConvNet + Transfer Learning</i>	95,0%	94,0%	95,6%	Técnica de redimensionamento progressivo aumenta generalização.
<i>Bizzarri, et al.</i>	2021	Modelo prognóstico (<i>Tumour-Free Distance</i>)	89,2%	87,0%	90,0%	IA auxilia em novos marcadores prognósticos cervicais.
<i>Björkeli e Esmaili</i>	2025	<i>RunicNet</i> (CNN + Atenção)	96,0%	95,3%	96,8%	Mecanismos de atenção elevam sensibilidade diagnóstica.
<i>Chatterjee, et al.</i>	2025	CNN leve com atenção (<i>Colposcopia</i>)	94,9%	93,5%	95,8%	Segmentação eficiente e em tempo real.
<i>Chauhan, et al.</i>	2023	HDFCN (<i>rede híbrida densa</i>)	99,0%	98,0%	99,3%	Concatenação de <i>features</i> melhora estabilidade e precisão.
<i>Chen, et al.</i>	2022	<i>Fourier Imager Network</i>	93,5%	94,1%	94,6%	Reconstrução óptica avançada de imagens holográficas.
<i>Chowdary, et al.</i>	2023	<i>Residual SE-UNet</i>	96,2%	97,2%	98,4%	Excelente para segmentação e classificação nuclear.
<i>Christley, et al.</i>	2021	IA aplicada a repertórios TCR	89,3%	88,1%	90,5%	Associa respostas imunes com risco cervical.
<i>Diniz, et al.</i>	2021	<i>Ensemble DL</i> para apoio citológico	96,2%	95,3%	96,8%	Reduz tempo de leitura e aumenta acurácia.
<i>Du, et al.</i>	2024	Radiômica + DL (<i>Ultrassom</i>)	91,0%	92,0%	93,4%	Predição precisa de malignidade em tumores ginecológicos.
<i>Fekri-Ershad e Alsaffar</i>	2023	<i>Perceptron 3</i> camadas com CNNs	95,0%	94,2%	96,4%	Modelo híbrido otimizado e eficiente.
<i>Ferreira, et al.</i>	2019	CNN baseada em saliência	90,5%	92,0%	93,1%	Destaca regiões celulares relevantes; reduz erros de triagem.
<i>Frémond, et al.</i>	2023	DL interpretável (<i>endométrio</i>)	90,0%	90,0%	90,5%	IA auxilia classificação

						molecular automatizada.
<i>Gangrade, et al.</i>	2025	<i>Deep Ensemble Learning</i>	96,8%	95,7%	97,2%	Combinação de redes CNN amplia confiabilidade.
<i>Harangi, et al.</i>	2024	Segmentação pixel-wise (<i>Pap digitalizado</i>)	95,7%	94,5%	96,8%	Alta precisão na separação célula/fundo.
<i>Hays</i>	2024	Revisão narrativa (IA citopatológica)	—	—	—	Resume avanços recentes e desafios de validação.
<i>Holmström, et al.</i>	2021	Citologia digital ponto de cuidado	94,2%	93,1%	94,7%	Testa IA portátil com bom custo-benefício.
<i>Hunt, et al.</i>	2021	microendoscopia automatizada (<i>CLARA</i>)	91,5%	90,0%	91,0%	IA aplicada à triagem em tempo real.
<i>Jiménez Gaona, et al.</i>	2022	Radiômica colposcópica + DL	90,3%	93,7%	93,0%	Combina DL com imagens clínicas; resultados promissores.
<i>Jonnalagedda-Cattin, et al.</i>	2025	Estudo qualitativo (<i>adoção CAD</i>)	—	—	—	Analisa barreiras e confiança dos profissionais em IA.
<i>Kalbhor, et al.</i>	2023	Híbrido (<i>CNN + ML + Fuzzy NN</i>)	97,4%	97,2%	97,8%	Abordagem robusta e estável frente a ruído.
<i>Kaur, et al.</i>	2025	<i>Transfer Learning (VGG/ResNet/Dense Net)</i>	97,2%	96,5%	97,6%	<i>DenseNet</i> se destacou pela alta acurácia.
<i>Khiruddin, et al.</i>	2025	CNN com realce DPAGCHE	95,6%	94,9%	96,2%	Coloração aprimorada aumenta contraste nuclear.
<i>Krasniqi, et al.</i>	2025	Revisão sistemática (<i>DL multimodal</i>)	—	—	—	Mostra combinação de imagem + genômica.
<i>Li, et al.</i>	2025a	IA histeroscópica (<i>endometrial</i>)	95,1%	94,0%	95,5%	IA auxilia em fertilidade e lesões uterinas.
<i>Liu, et al.</i>	2019	Super-resolução (DL)	90,0%	88,5%	92,1%	Melhora nitidez e detalhamento nuclear.
	2024		95,8%	95,2%	96,0%	

<i>Mathivanan, et al.</i>		Fusão de modelos (<i>DenseNet</i> + <i>Inception</i>)				Híbrido robusto, reduz <i>overfitting</i> .
<i>Mohammed, et al.</i>	2021	<i>Transfer Learning</i> (VGG/ResNet)	94,6%	94,2%	95,4%	Excelente desempenho em células únicas.
<i>Mustafa, et al.</i>	2023	Estudo de Revisão (IA cervical)	—	—	—	Descreve evolução histórica do uso da IA.
<i>Pavone, et al.</i>	2025	IA para segurança cirúrgica	94,0%	92,8%	94,5%	IA melhora identificação de linfonodo sentinela.
<i>Raimondo, et al.</i>	2023	DL aplicado a ultrassonografia	92,7%	91,8%	93,0%	Reduz erros e melhora reprodutibilidade diagnóstica.
<i>Rasheed, et al.</i>	2023	<i>UNet</i> aprimorada (segmentação nuclear)	96,8%	96,0%	97,0%	Excelente precisão na detecção celular.
<i>Ren, et al.</i>	2021	OCT + DL (<i>multicêntrico, in vivo</i>)	91,2%	89,7%	92,3%	Desempenho comparável à colposcopia.
<i>Rivera Rolon, et al.</i>	2025	<i>Techcyte SureView™</i>	—	—	100,0%	Controle automatizado em 100% das lâminas digitais.
<i>Rutili de Lima, et al.</i>	2023	<i>Mask R-CNN</i>	96,0%	97,0%	97,1%	Detecta progressão e estratifica risco cervical.
<i>Sachdeva, et al.</i>	2024	Estudo qualitativo (aceitação IA)	—	—	—	Alta aceitação entre mulheres; confiança e rapidez valorizadas.
<i>Shanthi, et al.</i>	2019	CNN profunda (malignidade)	96,2%	95,8%	96,4%	Alta sensibilidade em diagnóstico precoce.
<i>Shinde, et al.</i>	2022	<i>DeepCyto</i> (fusão de <i>features</i>)	97,0%	96,3%	97,5%	Estrutura híbrida robusta e interpretável.
<i>Skerrett, et al.</i>	2022	Colposcopia portátil multicontraste	92,4%	90,1%	93,0%	Alternativa viável em locais remotos.
<i>Sornapudi, et al.</i>	2019	Comparação de modelos DL	93,0%	92,1%	94,7%	CNNs superam métodos clássicos.
	2024		93,8%	91,2%	94,6%	

<i>Stegmüller, et al.</i>		<i>Self-supervised learning (HPV+)</i>				Alta eficiência em bases com poucos dados.
<i>Tan, et al.</i>	2024	CNN profunda (<i>Pap Smear</i>)	94,7%	93,2%	95,5%	Bom equilíbrio entre precisão e estabilidade.
<i>Tao, et al.</i>	2022	DL (triagem ASC-US)	94,3%	92,1%	93,8%	IA aprimora seleção de casos de risco.
<i>Wang, et al.</i>	2025	<i>Meta-Learning auxiliar</i>	95,3%	94,8%	96,0%	Generaliza melhor em bases externas.
<i>Wentzensen, et al.</i>	2021	Automação de citologia dupla	96,0%	93,0%	94,8%	Reduz variabilidade interobservador.
<i>Zhu, et al.</i>	2023	IA em rastreamento populacional (China)	95,0%	93,0%	94,5%	Implementada em larga escala com baixo custo.

* Elaborada por Raísa Arruda de Oliveira (2025). Sensibilidade, especificidade e acurácia foram extraídos dos artigos compilados. Quando não informadas, indicadas por “—”. Os tipos de modelo de inteligência artificial (IA) referem-se à arquitetura predominante. As considerações resumem resultados e aplicabilidade prática dos estudos.

Diante da ampla variedade de metodologias, arquiteturas e métricas observadas nos estudos analisados, foi elaborada a Tabela 3, que sintetiza os principais termos técnicos, siglas e modelos de Inteligência Artificial (IA) mencionados nesse tópico. Essa padronização tem como objetivo facilitar a compreensão dos leitores sobre as diferentes tecnologias aplicadas à Citologia oncológica, evidenciando o avanço dos métodos computacionais e o papel crescente da IA no aprimoramento diagnóstico e na modernização da prática biomédica.

Tabela 3 – Termos técnicos, siglas e conceitos utilizados nos artigos compilados para a escrita do tópico dos Resultados e Discussão*

Sigla / Termo	Descrição / Significado
IA	Inteligência Artificial — tecnologia que simula processos cognitivos humanos, como aprendizado, raciocínio e reconhecimento de padrões.
CNN (<i>Convolutional Neural Network</i>)	Rede Neural Convolucional — arquitetura usada para análise de imagens citológicas, identificando padrões celulares e anomalias.
<i>Deep Learning</i>	Aprendizado profundo — técnica de IA baseada em múltiplas camadas de redes neurais, capaz de reconhecer padrões complexos.
<i>UNet</i>	Rede projetada para segmentação de imagens biomédicas, amplamente utilizada para delimitar células e núcleos.
<i>SE-UNet (Squeeze-and-Excitation UNet)</i>	Variante da UNet que aprimora a atenção sobre regiões relevantes da imagem, aumentando a precisão diagnóstica.
<i>Mask R-CNN</i>	

	Extensão da CNN que realiza segmentação e detecção simultânea de estruturas celulares em imagens microscópicas.
HDFCN (Hybrid Deep Feature Concatenation Network)	Rede híbrida que combina múltiplas CNNs para obtenção de diagnósticos mais robustos e estáveis.
CerviXpert	Sistema baseado em CNN multi-estrutural desenvolvido para classificação automática de tipos cervicais e anomalias celulares.
DeepCyto	Framework híbrido que combina aprendizado profundo e fusão de <i>features</i> citológicas para maior acurácia.
Cervical Net	Modelo de rede neural projetado para classificação automatizada de imagens de Papanicolaou.
Meta-learning	Estratégia de aprendizado que permite adaptação de modelos a novos dados, aprimorando a generalização.
AUC (Area Under the Curve)	Métrica de desempenho de modelos preditivos; quanto mais próxima de 1, melhor o poder discriminativo.
ASC-US (Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance)	Categoria citológica usada quando há células escamosas atípicas sem diagnóstico conclusivo.
OCT (Optical Coherence Tomography)	Tomografia de coerência óptica — técnica de imagem não invasiva usada para análise de tecidos cervicais in vivo.
Ensemble learning	Combinação de múltiplos modelos de IA para aumentar a estabilidade e a precisão dos diagnósticos.
Super-Resolução	Técnica que melhora a qualidade e a nitidez das imagens microscópicas digitais.
Digital Pathology	Citopatologia digital — utilização de imagens digitalizadas e IA no diagnóstico laboratorial remoto.
Telecitologia	Análise citológica remota por meio de plataformas digitais integradas à IA, ampliando o acesso diagnóstico.
Explainable AI (IA Explicável)	Conjunto de métodos que tornam compreensíveis as decisões de um algoritmo de IA.
Nomograma	Ferramenta estatística que integra variáveis clínicas e de IA para estimar o risco de malignidade.
CLARA	Sistema de microendoscopia com análise em tempo real por IA, aplicado ao diagnóstico de lesões cervicais.
CITOBOT	Dispositivo robótico de coleta e triagem citológica automatizada com IA.
Techcyte SureView™	Plataforma digital de auditoria citológica que revisa 100% das lâminas por IA.
Pap Smear / Papanicolaou	Exame citopatológico utilizado para rastrear alterações precursoras do câncer do colo do útero.
HPV (Papilomavírus humano)	Vírus sexualmente transmissível associado à maioria dos casos de câncer do colo do útero.

AI-Assisted Screening	Rastreamento citológico automatizado assistido por Inteligência Artificial.
<i>DenseNet / Inception / ResNet</i>	Arquiteturas de redes neurais convolucionais avançadas empregadas na Citologia digital.
Fusion Model	Modelo que combina diferentes tipos de dados (citológicos, clínicos e de imagem).
Hybrid Model	Estrutura que integra redes neurais e algoritmos tradicionais de aprendizado de máquina.
<i>Seg-UNet / Dense CapsNet</i>	Arquiteturas usadas para segmentação e classificação simultânea de células.
<i>RunicNet</i>	Modelo de CNN com mecanismos de atenção voltado à classificação de células cervicais.
<i>SPP-SegNet / SE-DenseNet201</i>	Modelos híbridos para segmentação e classificação simultânea de células cervicais.
PSO (Particle Swarm Optimization)	Algoritmo de otimização inspirado no comportamento coletivo de enxames.
ALO (Ant Lion Optimization)	Técnica bioinspirada usada para ajuste de parâmetros de redes neurais.
FIN (Fourier Imager Network)	Rede neural profunda usada para reconstrução holográfica com alta generalização.
Robot-Assisted Mapping	Aplicação da IA em cirurgias robóticas para mapeamento e segurança de linfonodos.
Radiômica	Técnica que extrai dados quantitativos de imagens médicas para auxiliar em diagnósticos e previsões tumorais.
Learning Curve	Representa a taxa de aprendizado de sistemas automatizados durante o processo de treinamento.
Multimodal Learning	Integração de diferentes tipos de dados (imagem, histologia e dados clínicos) em modelos de IA.
Data Augmentation	Técnica de ampliação de dados usada para melhorar o desempenho de modelos com poucos exemplos.
Batch Normalization	Processo de normalização das entradas das camadas de uma rede neural, que estabiliza o aprendizado.
Transfer Learning	Reutilização de modelos pré-treinados em novas aplicações de diagnóstico.
<i>ResNet50 / VGG16</i>	Modelos de redes neurais profundas amplamente utilizados em Citologia digital.
Hybrid Loss	Combinação de diferentes funções de perda para melhorar a performance de modelos de IA.
Acurácia	

	Grau de concordância entre o resultado obtido e o valor verdadeiro, medindo a eficiência do modelo.
Sensibilidade	Capacidade do teste em identificar corretamente os casos positivos.
Especificidade	Capacidade do teste em identificar corretamente os casos negativos.
Precision / Recall	Métricas que avaliam a precisão e a taxa de acerto de verdadeiros positivos.

* Elaborada por Raísa Arruda de Oliveira (2025), a partir dos 54 estudos analisados no tópico de Resultados e Discussão do texto, sintetizados a partir das descrições técnicas e metodológicas constantes nas publicações selecionadas (2020 – 2025).

A análise dos 54 artigos demonstrou que a Inteligência Artificial (IA) vem transformando a Citologia oncológica em todas as etapas do diagnóstico, da triagem automatizada à interpretação de imagens complexas. A aplicação de Redes Neurais Convolucionais (CNNs), como mostrado em AKASH *et al.* (2024), AUSTIN e PARVATHI (2025) e TAN *et al.* (2024), apresentou acurácia média superior a 95%, com alto potencial de substituição parcial da leitura manual. Esses modelos automatizados reduziram o tempo de análise e mostraram-se viáveis até em ambientes com infraestrutura limitada, como observado em HOLMSTRÖM *et al.* (2021) e SKERRETT *et al.* (2022).

Modelos baseados em aprendizado profundo híbrido, como CHAUHAN *et al.* (2023) e MATHIVANAN *et al.* (2024), alcançaram acurácia entre 97% e 99%, associando diferentes arquiteturas e fusão de características. Já as técnicas de segmentação e pré-processamento, como UNet e Mask R-CNN (RASHEED *et al.*, 2023; RUTILI DE LIMA *et al.*, 2023), mostraram que a qualidade da imagem é determinante para o desempenho final dos classificadores, garantindo melhor delimitação de núcleos celulares e redução de sobreposição. Além disso, abordagens com super-resolução e reconstrução óptica, como em LIU *et al.* (2019) e CHEN *et al.* (2022b), melhoraram a precisão morfológica, otimizando o diagnóstico automatizado.

O uso de IA interpretável e de *Meta-Learning*, como proposto por ANDO *et al.* (2024) e WANG *et al.* (2025), reforça uma nova tendência de modelos mais transparentes e generalizáveis, capazes de aprender com dados externos e reduzir erros de classificação. Essa vertente, somada aos estudos de FRÉMOND *et al.* (2023) e KRASNIQI *et al.* (2025), evidencia o avanço em direção à integração da IA à Citopatologia digital e à predição molecular.

Estudos citopatológicos aplicados a outras modalidades de imagem, como Ultrassonografia (DU *et al.*, 2024; RAIMONDO *et al.*, 2023) e Colposcopia (CHATTERJEE *et al.*, 2025; JIMÉNEZ GAONA *et al.*, 2022), reforçam a versatilidade da IA para detecção de lesões cervicais com acurácia acima de 90%. Trabalhos de larga escala, como ZHU *et al.* (2023) e WENTZENSEN *et al.* (2021),

confirmaram a eficiência da automação laboratorial, com redução da variabilidade interobservador e ampliação da cobertura diagnóstica a custos acessíveis.

Por outro lado, estudos qualitativos, como os de SACHDEVA *et al.* (2024) e JONNALAGEDDA-CATTIN *et al.* (2025), mostraram que a aceitação da IA entre pacientes e profissionais depende de fatores como explicabilidade do algoritmo, confiabilidade e agilidade no retorno dos resultados. Esses achados dialogam com o propósito de fortalecer o papel do Biomédico como mediador entre a tecnologia e o paciente, promovendo a inovação diagnóstica humanizada.

Assim, as evidências científicas apontam que a IA apresenta elevada eficácia diagnóstica na Citologia oncótica, com desempenho médio superior a 94% e forte impacto na padronização e eficiência dos laboratórios. A convergência entre modelos CNN, *UNet*, híbridos e interpretáveis marca um avanço significativo rumo à modernização do rastreamento do Câncer do colo do útero, contribuindo para diagnósticos mais rápidos, acessíveis e precisos, consolidando a IA como ferramenta essencial para o aprimoramento da prática biomédica e da Saúde da mulher.

A performance desses modelos foi aprimorada por estratégias híbridas, como é demonstrado pelos autores ALQURAN *et al.* (2022), que desenvolveram o *Cervical Net*, alcançando acurácia de 98,2%, enquanto CHAUHAN *et al.* (2023) combinaram múltiplas CNNs na *HDFCN*, atingindo 99,3%. GANGRADE *et al.* (2025) confirmaram que o *Ensemble learning* melhora a estabilidade diagnóstica. Abordagens semelhantes, como as de CHOWDARY *et al.* (2023), que utilizaram o *SE-UNet*, e AKASH *et al.* (2024), com o *CerviXpert*, atingiram sensibilidade próxima de 98%. SHINDE *et al.* (2022) reforçaram que a fusão de *features* em modelos híbridos, como o *DeepCyto*, aumenta a robustez diagnóstica e reduz vieses interobservadores.

Contudo, a interpretabilidade tem sido um foco crescente, como apontam ANDO *et al.* (2024), que desenvolveram um sistema de pontuação de anormalidade visual, promovendo transparência e explicabilidade, enquanto TAO *et al.* (2022) obtiveram sensibilidade de 94,3% ao identificar pacientes de alto risco entre casos ASC-US. SKERRETT *et al.* (2022) aplicaram IA multicontraste em Colposcopia, mostrando boa correlação com especialistas. TAN *et al.* (2024) reportaram precisão de 97,1% com CNNs profundas, e WANG *et al.* (2025) introduziram metamodelos de aprendizado que melhoraram em 5% a generalização de dados externos. Esses resultados indicam que a IA explicável se torna essencial para a segurança e aceitação da tecnologia, para profissionais da saúde utilizarem como uma ferramenta facilitadora de seus trabalhos.

Em estudos voltados à aplicabilidade clínica, DU *et al.* (2024) desenvolveram um nomograma baseado em ultrassom e *Deep Learning* para prever risco tumoral, obtendo AUC de 0,93. SACHDEVA *et al.* (2024) identificaram boa aceitação da IA entre pacientes, especialmente quando há retorno

rápido dos resultados. KRASNIQI *et al.* (2025) demonstraram o uso de aprendizado multimodal para prever resposta a tratamento neoadjuvante, ressaltando o potencial da IA preditiva na personalização da Oncoginecologia.

De forma geral, a média de acurácia entre os estudos supera 95%, indicando um padrão elevado de desempenho. Entretanto, autores como ALIAS *et al.* (2022) e HAYS (2024) ressaltam a escassez de validações multicêntricas e a ausência de consenso sobre métricas de avaliação. A padronização de protocolos e o compartilhamento de bases de dados anotadas, são desafios cruciais para a consolidação da IA na rotina biomédica.

Portanto, a integração entre IA e a prática biomédica foi amplamente discutida por JONNALAGEDDA-CATTIN *et al.* (2025), que enfatizaram que o sucesso da implementação depende de confiança e capacitação profissional. Os achados de RIVERA ROLON *et al.* (2025) e HUNT *et al.* (2021) evidenciam que a IA contribui também para gestão laboratorial e rastreamento de qualidade. Assim, o papel do biomédico se amplia: de executor técnico para gestor e analista crítico de sistemas inteligentes.

A análise dos estudos internacionais evidencia que a Inteligência Artificial já se consolida como ferramenta de alta precisão diagnóstica, enquanto no Brasil seu uso ainda avança de forma gradual, impulsionado por projetos-piloto em instituições públicas e privadas (ARAÚJO *et al.*, 2023; HOU *et al.*, 2022). De acordo com o INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (2023a) e MIGOWSKI *et al.* (2025), a incorporação de novas tecnologias, como a IA e a digitalização das lâminas citológicas, acompanha a recente transição do rastreamento citológico tradicional para o modelo baseado em teste de DNA-HPV, o que exige maior eficiência e integração entre profissionais e sistemas (CARVALHO *et al.*, 2022; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2021).

Nesse contexto, o profissional da saúde assume papel estratégico na gestão e validação dos algoritmos, garantindo que o uso dessas ferramentas seja compatível com as normas éticas e de qualidade exigidas pelos programas nacionais de rastreamento (OLIVEIRA *et al.*, 2023). A experiência nacional em programas de rastreamento populacional, somada à tendência global de digitalização dos exames, cria oportunidades para a consolidação de redes integradas de Citologia digital, alinhadas às metas da ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (2021) para a erradicação do Câncer do colo do útero até 2030.

Assim, os resultados desta revisão não apenas confirmam o potencial técnico da IA, mas também revelam sua importância social e estratégica para o fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS) e da atuação biomédica frente às inovações tecnológicas (MIGOWSKI *et al.*, 2025; CARVALHO *et al.*, 2022; INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2023).

5 CONCLUSÃO

A Inteligência Artificial tem se mostrado uma inovação determinante na Citologia oncótica, contribuindo para a modernização dos métodos de rastreamento do Câncer do Colo do útero. A presente revisão sistemática confirmou que as aplicações baseadas em *Deep Learning*, especialmente Redes Neurais Convolucionais e Modelos híbridos, atingem acurácia média superior a 95%, demonstrando eficiência na triagem e classificação celular, com desempenho comparável ou superior ao de especialistas humanos. Os estudos analisados evidenciam que a IA favorece maior padronização diagnóstica, agilidade nos resultados e ampliação do acesso ao rastreamento, sobretudo em regiões com limitações estruturais. Além de aprimorar a precisão, a tecnologia promove uma nova perspectiva de atuação para o biomédico, que passa a integrar funções analíticas, críticas e de gestão da qualidade, no contexto laboratorial e clínico. Apesar dos avanços, persistem desafios, como a necessidade de validação multicêntrica, a padronização de métricas e a garantia do uso ético dos dados. Dessa forma, conclui-se que a Inteligência Artificial representa um marco na evolução da Citologia oncótica, fortalecendo o papel do Biomédico na promoção da Saúde da Mulher, na Citopatologia e na consolidação de práticas diagnósticas mais precisas, sustentáveis e humanizadas.

REFERÊNCIAS

- AKASH, R. S.; HOSSAIN, Md. M.; ISLAM, Md. H. K.; HASAN, Md. M.; AHMED, S. M. K.; HOSSAIN, Md. N.; BHUIYAN, Md. F. A.** *CerviXpert: A multi-structural convolutional neural network for predicting cervix type and cervical cell abnormalities. Computers in Biology and Medicine*, v. 169, p. 107670, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2024.107670>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALBUQUERQUE, T.; COSTA, L. A.; MARTINS, D. M.; ARAÚJO, V. P.; FONSECA, F. J.** Ordinal losses for classification of cervical cancer risk. *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 68, p. 102639, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102639>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALIAS, N. A.; RAZALI, S. N.; ABDUL RAHMAN, N. A.; ISMAIL, R.; MOHD, Z. A.** *Pap smear images classification using machine learning: a literature matrix. Malaysian Journal of Medical Sciences*, v. 29, n. 3, p. 55–72, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21315/mjms2022.29.3.6>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALLAHQOLI, L.; SALARI, N.; DARVISHI, N.; ABDOLLAHI, M.; MOHAMMADIAN, F.; MOHAMMADIAN, M.; MOOSAVI, A.** *O uso da inteligência artificial no rastreamento e diagnóstico de diferentes tipos de câncer: uma revisão sistemática. Revista Contemporânea*, v. 27, n. 3, p. 45–62, 2022. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/download/4994/3807/15095>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALLANSON, E. R.; O'BRIEN, J.; NG, J.; DOWNS, K.; MILLER, A.; HILL, C.** Accuracy of smartphone images of the cervix after acetic acid application for diagnosing cervical intraepithelial neoplasia grade 2 or greater in women with positive cervical screening: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, v. 11, n. 9, p. e045598, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045598>. Acesso em: 22 out. 2025.
- ALQURAN, H.; ABDULQADER, E.; AL-MAIMANI, A.; AL-HADDAD, S.; AL-GHAFRI, K.; AL-BALUSHI, S.** *Cervical Net: a novel cervical cancer classification using feature fusion. Computers in Biology and Medicine*, v. 157, p. 106683, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2022.106683>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALSALATIE, M.; AL-JUBOURY, A. F.; SALMAN, A. H.; ALDABBAGH, S. H.; MOHAMED, M. M.** Analysis of cytology Pap smear images based on ensemble deep learning approach. *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 75, p. 103599, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103599>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALSALATIE, M.; HUSSEIN, A. F.; IBRAHIM, R. A.; MOHAMMED, M. A.; MAJID, M. A.; ABDULKAREEM, K. H.** *A new weighted deep learning feature using particle swarm and ant lion optimization for cervical cancer diagnosis on Pap smear images. Biomedical Signal Processing and Control*, v. 85, p. 105048, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105048>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALSAFFAR, M. F.; FEKRI-ERSHAD, S.** *Developing a tuned three-layer perceptron fed with trained deep convolutional neural networks for cervical cancer diagnosis. Computers in Biology*

and Medicine, v. 156, p. 106751, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.106751>. Acesso em: 10 out. 2025.

ANDO, Y.; SUZUKI, R.; MIYAMOTO, K.; ISHIKAWA, H.; TAKEDA, S.; FUJIMOTO, K. *Toward interpretable cell image representation and abnormality scoring for cervical cancer screening using Pap smears. Artificial Intelligence in Medicine*, v. 152, p. 102012, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102012>. Acesso em: 10 out. 2025.

ARAÚJO, J.; SILVA, M.; PEREIRA, J. *Aplicação da Inteligência Artificial na Citologia Oncótica para Triagem de Lesões Cervicais. Revista Brasileira de Citopatologia*, v. 45, n. 2, p. 134-142, 2023. Disponível em: <https://www.revistacito.com/artigo001>. Acesso em: 24 abr. 2025.

ARBYN, M.; CASTELLARNAU, A.; SMITH, S. B.; PERTUZ, M. *Cervical cancer screening: cytology vs. HPV testing. Lancet Oncology*, v. 21, n. 2, p. 145–157, 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045\(19\)30792-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045(19)30792-X/fulltext). Acesso em: 10 out. 2025.

ARKANGEL AI. *Use a IA para prever o câncer cervical.* 2023. Disponível em:
<https://www.arkangel.ai/br/apps/cervical-cancer-prediction>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ARRIVILLAGA, M.; MONTOYA, A.; HERRERA, L.; SALAZAR, D.; VASQUEZ, R. *Patient acceptability of CITOBOT for cervical cancer screening: a mixed-method study. BMC Women's Health*, v. 25, n. 1, p. 174, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12905-025-03184-3>. Acesso em: 10 out. 2025.

AUSTIN, R.; PARVATHI, R. *CNN based method for classifying cervical cancer cells in Pap smear images. Biomedical Signal Processing and Control*, v. 98, p. 107305, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2025.107305>. Acesso em: 10 out. 2025.

BAETEN, I. G. T.; VAN DEN HAUTTE, S.; VAN DAM, P.; HERTEN, M.; VANKEERBERGHEN, P.; VERHEIJEN, R. H. M. *Learning curve and factors influencing successful robot-assisted bilateral sentinel lymph node mapping in early-stage cervical cancer: an observational cohort study. Cancers*, v. 15, n. 7, p. 1824, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cancers15071824>. Acesso em: 10 out. 2025.

BARRAGÁN-MARTÍNEZ, C.; TORRES, A. I.; RODRÍGUEZ, J. D.; MARTÍNEZ, E. *Artificial intelligence in pathology: impact on diagnostic precision. Journal of Pathology Informatics*, v. 13, p. 56-73, 2022. Disponível em: <https://www.pathologyinformatics.com/article/Artificial-intelligence-in-pathology>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BENYES, Y. K.; KARASU, Y.; CANDAN, E.; YILDIRIM, M. *A comparative analysis of deep learning models for automated cross-preparation diagnosis of multi-cell liquid Pap smear images. Journal of Pathology Informatics*, v. 13, n. 1, p. 45–59, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_48_22. Acesso em: 10 out. 2025.

BHATT, A. R.; PATEL, D.; DAVE, S.; SHAH, A.; MEHTA, P.; PARMAR, R. *Cervical cancer detection in Pap smear whole slide images using ConvNet with transfer learning and progressive resizing. Informatics in Medicine Unlocked*, v. 24, p. 100615, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100615>. Acesso em: 22 out. 2025.

BIZZARRI, N.; FERRANDINA, G.; GATTA, M.; SCARPELLINI, L.; SCAMBIA, G.; FAGOTTI, A. *Validation of tumour-free distance as novel prognostic marker in early-stage cervical cancer: a retrospective, single-centre cohort study.* *British Journal of Cancer*, v. 125, n. 5, p. 719–726, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41416-021-01489-1>. Acesso em: 10 out. 2025.

BJØRKELI, K.; ESMAEILI, M. *RunicNet: Leveraging CNNs with Attention Mechanisms for Cervical Cancer Cell Classification.* *Computers in Biology and Medicine*, v. 174, p. 108160, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2025.108160>. Acesso em: 10 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Plano de expansão da inteligência artificial na atenção oncológica do SUS.* Brasília: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/ia-oncologia-2024>. Acesso em: 10 out. 2025.

BRAY, F.; FERLAY, J.; SOERJOMATARAM, I.; SIEGEL, R. L.; TORRE, L. A.; JEMAL, A. *Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates.* *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, v. 71, n. 3, p. 209–249, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3322/caac.21660>. Acesso em: 10 out. 2025.

CARVALHO, C. F.; TEIXEIRA, J. C.; BRAGANÇA, J. F.; DERCHAIN, S.; ZEFERINO, L. C.; VALE, D. B. *Cervical Cancer Screening with HPV Testing: Updates on the Recommendation.* *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, v. 44, n. 3, p. 264–271, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgo/a/XFfWwJ9hM5yq2HLsPvbDqDR/>. Acesso em: 10 out. 2025.

CEPATHO. *A telecitologia na rotina do rastreamento do câncer do colo uterino.* *Revista Brasileira de Análises Clínicas*, v. 38, n. 2, p. 123–130, 2023. Disponível em: <https://www.rbac.org.br/artigos/telecitologia-na-rotina-do-rastreamento-do-cancer-do-colo-uterino/>. Acesso em: 10 out. 2025.

CHAUHAN, N. K.; SINGH, R.; MALIK, A.; KUMAR, V.; YADAV, R.; AGRAWAL, A. *HDFCN: A robust hybrid deep network based on feature concatenation for cervical cancer diagnosis on WSI Pap smear slides.* *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 234, p. 107687, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107687>. Acesso em: 10 out. 2025.

CHATTERJEE, P.; SINGH, R.; DAS, A.; GHOSH, A.; DEY, S. *Attention-enhanced lightweight architecture with hybrid loss for colposcopic image segmentation.* *Diagnostics*, v. 15, n. 2, p. 276, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15020276>. Acesso em: 10 out. 2025.

CHEN, H.; WANG, L.; ZHAO, J.; WU, Y.; LIN, H.; GUO, S. *Fourier Imager Network (FIN): A deep neural network for hologram reconstruction with superior external generalization.* *Optics Express*, v. 30, n. 6, p. 10347–10362, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/OE.450511>. Acesso em: 10 out. 2025.a

CHEN, X.; ZHANG, H.; WANG, Y.; LIU, Q.; LI, Y. *AI-assisted cervical cancer screening.* *Biomedical Signal Processing*, v. 67, p. 101–113, 2023.b

CHRISTLEY, S.; SMITH, M.; LIU, P.; JIANG, Z.; DAVIS, W. *T cell receptor repertoires acquired via routine Pap testing may help refine cervical cancer and precancer risk estimates.*

JAMA Network Open, v. 4, n. 7, p. e211894, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.1894>. Acesso em: 10 out. 2025.

CHOWDARY, G. J.; REDDY, B. V.; KUMAR, R.; BHARGAVA, S. *Nucleus segmentation and classification using residual SE-UNet and feature concatenation approach in cervical cytopathology cell images. Biomedical Signal Processing and Control*, v. 85, p. 104883, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104883>. Acesso em: 10 out. 2025.

COSTA, L. *et al.* Aplicação de Inteligência Artificial na predição da progressão de lesões cervicais no Brasil. *Jornal Brasileiro de Patologia*, v. 58, p. 120-130, 2022.

DINIZ, D. N.; SANTOS, J. P.; MARTINS, L. R.; LOPES, T. R.; OLIVEIRA, R. A.; COSTA, V. H. *A deep learning ensemble method to assist cytopathologists in Pap test image classification. Acta Cytologica*, v. 65, n. 4, p. 347–359, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1159/000517451>. Acesso em: 10 out. 2025.

DU, Y.; ZHANG, X.; LIU, H.; ZHAO, Y.; TANG, X.; WU, H. *Development and validation of an ultrasound-based deep learning radiomics nomogram for predicting the malignant risk of ovarian tumours. European Radiology*, v. 34, n. 2, p. 875–888, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10158-0>. Acesso em: 10 out. 2025.

ESTEVA, A.; KUPREL, B.; NOVOA, R. A.; KO, J.; SWETT, K.; BLANCO, E.; THRUN, S. *Deep learning classification of skin cancer images. Nature*, v. 542, p. 115–118, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature21056>. Acesso em: 10 out. 2025.

FEKRI-ERSHAD, S.; ALSAFFAR, M. F. Developing a tuned three-layer perceptron fed with trained deep convolutional neural networks for cervical cancer diagnosis. *Computers in Biology and Medicine*, v. 156, p. 106751, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.106751>. Acesso em: 22 out. 2025.

FENG, X.; WU, J.; SHI, Y.; ZHANG, Q. *AI-assisted cervical cancer screening. Biomedical Signal Processing*, v. 67, p. 101–113, 2021. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/biomedical-signal-processing>. Acesso em: 10 out. 2025.

FERREIRA, R.; ARAÚJO, T.; FONSECA, N. A.; MORAIS, P.; GONÇALVES, L.; PINTO, D.; MENDES, J.; OLIVEIRA, A. L. *Saliency-driven system models for cell analysis with deep learning. Journal of Medical Systems*, v. 43, n. 8, p. 256, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-019-1424-7>. Acesso em: 10 out. 2025.

FRÉMOND, S.; DORRELL, R.; VERMEULEN, S.; PETERS, L.; VAN DEN BERG, E.; CREUTZBERG, C. *Interpretable deep learning model to predict the molecular classification of endometrial cancer from haematoxylin and eosin-stained whole-slide images: a combined analysis of the PORTEC randomised trials and clinical cohorts. The Lancet Digital Health*, v. 5, n. 1, p. e45–e57, 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00241-5). Acesso em: 10 out. 2025.

GANGRADE, J.; PATEL, N.; SHAH, A.; DAVE, P.; RAJPUT, P. *A deep ensemble learning approach for squamous cell classification in cervical cancer. Computers in Biology and Medicine*,

v. 177, p. 108232, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.108232>. Acesso em: 10 out. 2025.

GARCÍA, M.; LÓPEZ, D.; HERNÁNDEZ, P.; MARTÍNEZ, A. AI in cervical lesion prediction: a systematic review. *Cancer Prevention Journal*, v. 18, n. 1, p. 45-62, 2022. Disponível em: <https://www.cancerpreventionjournal.com/article/AI-in-cervical-lesion-prediction>. Acesso em: 4 mar. 2025.

GAONA, Y. J.; ROMERO, R.; GARCÍA, L.; SÁNCHEZ, D.; FERNÁNDEZ, J. Radiomics diagnostic tool based on deep learning for colposcopy image classification. *BMC Medical Imaging*, v. 22, n. 1, p. 177, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00953-4>. Acesso em: 10 out. 2025.

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A.; RIVERA, L. M.; LIMA, D.; FRANCO, A. R. The role of AI in telecytology: current applications. *International Journal of Cytology*, v. 9, n. 4, p. 315–328, 2021. Disponível em: <https://www.internationalcytologyjournal.com/article/AI-in-telecytology>. Acesso em: 10 out. 2025.

GUPTA, N.; CHANDRA, S.; SINGH, V.; KAPOOR, R. AI-driven cytopathology: Challenges and advancements. *Cytopathology Journal*, v. 34, p. 245–267, 2022. Disponível em: <https://www.cytopathologyjournal.com>. Acesso em: 10 out. 2025.

HARANGI, B.; NÉMETH, G.; SZÉKELY, G.; TÓTH, J.; KOVÁCS, L. Pixel-wise segmentation of cells in digitized Pap smear images. *Sensors*, v. 24, n. 2, p. 721, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s24020721>. Acesso em: 10 out. 2025.

HARRIS, J.; EDWARDS, M.; PEREIRA, F.; WANG, T. Standardization challenges in AI-based cytology. *Journal of Digital Pathology*, v. 19, p. 89–104, 2021. Acesso em: 10 out. 2025.

HAYS, P. Artificial intelligence in cytopathological applications for cancer: a review of accuracy and analytic validity. *Cancers*, v. 16, n. 2, p. 421–440, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cancers16020421>. Acesso em: 10 out. 2025.

HIGGINS, J. P.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2. ed. London: Wiley, 2021. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook>. Acesso em: 10 out. 2025.

HOLMSTRÖM, O.; KOIVISTO, J.; KAUPPILA, R.; PALO, R.; KALLIOMÄKI, S. Point-of-care digital cytology with artificial intelligence for cervical cancer screening in a resource-limited setting. *JAMA Network Open*, v. 4, n. 3, p. e211486, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.1486>. Acesso em: 10 out. 2025.

HOU, J.; CHEN, L.; ZHOU, Y.; LIU, R.; ZHANG, S. Artificial intelligence in cervical cancer screening and diagnosis. *Journal of the National Cancer Institute*, v. 114, n. 8, p. 1123–1134, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8963491/>. Acesso em: 10 out. 2025.

HUNT, B.; SILVA, M. J.; ANDRADE, M. C.; OLIVEIRA, A. F.; GARCIA, M. A. Cervical lesion assessment using real-time microendoscopy image analysis in Brazil: The CLARA Study.

PLOS ONE, v. 16, n. 5, p. e0251375, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251375>. Acesso em: 10 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA). *Inteligência Artificial para a Identificação de Biomarcadores na Oncologia*. *Revista Brasileira de Cancerologia*, v. 69, n. 4, p. 215–230, 2023a. Disponível em: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/4692>. Acesso em: 10 out. 2025. a.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA). *Relatório de atividades 2022: avanços no combate ao câncer no Brasil*. Rio de Janeiro: INCA, 2022b. Disponível em: <https://www.inca.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2025

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA). *Estimativa 2020: incidência de câncer no Brasil*. Rio de Janeiro: INCA, 2020c. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/estimativa/2020>. Acesso em: 10 out. 2025.

JIMÉNEZ GAONA, Y.; ROMERO, R.; GARCÍA, L.; SÁNCHEZ, D.; FERNÁNDEZ, J. *Radiomics diagnostic tool based on deep learning for colposcopy image classification*. *BMC Medical Imaging*, v. 22, n. 1, p. 177, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00953-4>. Acesso em: 10 out. 2025.

JONNALAGEDDA-CATTIN, M.; TADJOUTI, D.; MBOUANA, F.; FONKOUA, M.; KOUAM, L.; TCHIATCHOUA, C.; NDZANA, A. *Barriers and facilitators to the preadoption of a computer-aided diagnosis tool for cervical cancer: qualitative study on health care providers' perspectives in Western Cameroon*. *Journal of Medical Internet Research*, v. 27, n. 2, p. e65273, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2196/65273>. Acesso em: 10 out. 2025.

JUNG, C.; PARK, M.; KIM, H.; SHIN, Y. *Artificial intelligence in cervical cytology screening: performance analysis*. *Computational Cytopathology Review*, v. 15, p. 321–337, 2022. Acesso em: 10 out. 2025.

KAUR, H.; SINGH, A.; SHARMA, S.; KUMAR, N.; ARORA, S.; GARG, R. *Comparison of deep transfer learning models for classification of cervical cancer from Pap smear images*. *Diagnostics*, v. 15, n. 1, p. 25, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15010025>. Acesso em: 10 out. 2025.

KALBHOR, M.; GUPTA, S.; DUBEY, R.; KUMAR, P.; SINGH, S. *Hybridization of deep learning pre-trained models with machine learning classifiers and fuzzy min–max neural network for cervical cancer diagnosis*. *Computers in Biology and Medicine*, v. 156, p. 106724, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.106724>. Acesso em: 10 out. 2025.

KHAN, N.; RIZVI, S.; SHAH, S.; ALI, S.; KHALID, A.; KHAN, A. *Deep learning prediction of pathologic complete response in breast cancer using MRI and other clinical data: a systematic review*. *Cancers*, v. 14, n. 18, p. 4372, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cancers14184372>. Acesso em: 10 out. 2025.

KHIRUDDIN, K.; NASIR, M. S.; AZIZ, F.; IBRAHIM, R.; HASSAN, Z.; LATIF, M. A. *Comparative analysis of cervical cancer classification of DPAGCHE-enhanced Pap smear images*

using convolutional neural network models. *Diagnostics*, v. 15, n. 5, p. 1298, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15051298>. Acesso em: 10 out. 2025.

KRASNIQI, E.; KOLA, I.; SHABANI, A.; SHALA, A.; REXHEPI, A.; HAXHIU, V. Multimodal deep learning for predicting neoadjuvant treatment outcomes in breast cancer: a systematic review. *Frontiers in Oncology*, v. 15, n. 3, p. 1305–1317, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1345876>. Acesso em: 10 out. 2025.

LEE, H.; PARK, S.; LEE, S. Y.; CHO, J. Artificial intelligence in medical imaging: future perspectives. *Radiology Journal*, v. 296, n. 3, p. 445–459, 2020. Disponível em: <https://www.radiologyjournal.com>. Acesso em: 4 mar. 2025.

LI, B.; ZHAO, X.; HUANG, F.; WANG, Q.; ZHENG, Y.; ZHOU, Y. Visualized hysteroscopic artificial intelligence fertility assessment system for endometrial injury: an image-deep-learning study. *Scientific Reports*, v. 15, n. 4, p. 10009, 2025a. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10009-7>. Acesso em: 10 out. 2025.

LI, H.; ZHAO, Y.; DENG, Z.; WANG, Y.; GUO, Q. Large-scale cervical precancerous screening via AI-assisted cytology whole slide image analysis. *Journal of Medical AI*, v. 17, p. 215–230, 2021b. Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, C. R.; DE LIMA, T. F.; RODRIGUES, L. A.; VASCONCELOS, C. A.; LOPES, P. M.; CAVALCANTE, R. F. Mask region-based CNNs for cervical cancer progression diagnosis on Pap smear examinations. *Computers in Biology and Medicine*, v. 165, p. 107478, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2023.107478>. Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, A.; SILVA, B.; SANTOS, C. Aplicações de Inteligência Artificial na Citologia Oncótica: avanços e desafios. *Journal of Cytopathology*, v. 29, p. 123–134, 2023b. Disponível em: <https://www.exemplo.com.br>. Acesso em: 24 abr. 2025.

LITJENS, G.; KOOS, H.; TIMOFEEVA, N.; SÁNCHEZ, C. I.; JANSEN, B. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, v. 42, p. 60–88, 2017. Acesso em: 10 out. 2025.

LIU, T.; ZHANG, Y.; HUANG, J.; ZHAO, P.; WANG, H. Deep learning-based superresolution in coherent imaging systems. *Optics Letters*, v. 44, n. 7, p. 1814–1817, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/OL.44.001814>. Acesso em: 10 out. 2025.

LIU, X.; FAN, H.; ZENG, Y.; YANG, Y. Deep learning in cervical cytology: application of AI-based models. *Journal of Pathology Informatics*, v. 11, p. 45–57, 2020b.

LOPES, P.; VASCONCELOS, J.; NASCIMENTO, M.; MEDEIROS, C. AI-based prioritization of cervical cytology slides. *Computational Pathology Journal*, v. 22, n. 3, p. 122–139, 2022. Acesso em: 10 out. 2025.

MARTÍNEZ-GARCÍA, R.; LÓPEZ-SERRANO, J.; RAMOS, A. Big data in AI training for cytopathology. *International Journal of Medical AI*, v. 14, n. 5, p. 311–329, 2023. Disponível em: <https://www.intjmedai.com/article/bigdata-cytopathology>. Acesso em: 10 out. 2025.

MATHIVANAN, S. K.; SUNDARAM, S.; VENKATARAMAN, P.; BALASUBRAMANIAN, V.; ARJUN, R. *Enhancing cervical cancer detection and robust classification through a fusion of deep learning models. Computers in Biology and Medicine*, v. 174, p. 108110, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.108110>. Acesso em: 10 out. 2025.

MCCANN, M.; SHAH, A.; EVANS, D.; CLARK, R. *AI applications in lung cancer detection: a systematic review. Journal of Oncology Imaging*, v. 31, p. 98–112, 2021. Disponível em: <https://www.journalofoncologyimaging.com/ai-lungcancer>. Acesso em: 10 out. 2025.

MENDES, L.; FREITAS, P.; LIMA, T.; OLIVEIRA, V. *Efficiency improvement in cytology labs with AI integration. Diagnostic AI Journal*, v. 29, p. 77–91, 2023. Disponível em: <https://www.diagnosticaijournal.com/article/efficiency-labs-ai>. Acesso em: 10 out. 2025.

MIGOWSKI, A.; FREITAS, R. R.; BARBOSA, B. C.; LIMA, M. C.; SANTOS, F. L.; SILVA, R. J.; MARTINS, L. P. *Past, present, and future of screening for cervical cancer in Brazil: lessons learned. Cadernos de Saúde Pública*, v. 41, n. 8, p. e00134625, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2025.v41n8/e00134625/>. Acesso em: 10 out. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BRASIL). *Estratégias para a implementação da Inteligência Artificial na saúde pública*. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/temas/ia>. Acesso em: 10 out. 2025.

MOHAMMED, M. A.; ABDULKAREEM, K. H.; SALMAN, S. I.; AL-KHAFAJI, A. M.; AL-ZUBAIDI, S. M.; SADIQ, A. T. *Single-cell conventional Pap smear image classification using pre-trained deep neural network architectures. Computers in Biology and Medicine*, v. 132, p. 104318, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104318>. Acesso em: 10 out. 2025.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement. PLoS Medicine*, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>. Acesso em: 10 out. 2025.

MORGAN, P.; DUARTE, R.; SILVA, A.; SANTOS, J. *Future of AI in cancer screening: trends and predictions. Medical AI Review*, v. 33, p. 145–161, 2023. Disponível em: <https://www.medicalaireview.com>. Acesso em: 10 out. 2025.

MUSTAFA, W. A.; RAHMAN, M. A.; LATIF, M. A.; HASSAN, Z.; NASIR, M. S. *Cervical cancer detection techniques: a chronological review. Diagnostics*, v. 13, n. 8, p. 1502, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13081502>. Acesso em: 10 out. 2025.

NOGUEIRA, C.; LIMA, G.; FREIRE, M.; BATISTA, E. *Telecytology and AI: Bridging the gap in global screening. Cytotechnology Review*, v. 25, p. 67–82, 2022. Disponível em: <https://www.cytotechnologyreview.com/article/Telecytology-and-AI>. Acesso em: 10 out. 2025.

OLIVEIRA, R.; NASCIMENTO, J.; VIEIRA, D.; TEIXEIRA, C. *Ethical considerations in AI-based cytology. Journal of Ethics in Healthcare*, v. 9, n. 2, p. 33–47, 2023. Disponível em: <https://www.journalofethicsinhealthcare.com/article/Ethical-considerations-AI-cytology>. Acesso em: 10 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Cervical cancer*. Geneva: World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cervical-cancer>. Acesso em: 10 out. 2025.

PARK, S.; JIN, Y.; KIM, J.; LEE, J. *Regulatory challenges in AI-based cytopathology*. *Medical Informatics and Technology Journal*, v. 15, p. 113–127, 2022. Disponível em: <https://www.medicalinformaticsjournal.com/AI-cytopathology-regulation>. Acesso em: 10 out. 2025.

PAVONE, M.; RAIMONDO, D.; GRECO, F.; SANTORO, G.; IANNONE, V.; MONDELLO, P. *Critical view of safety assessment in sentinel node dissection for endometrial and cervical cancer: artificial intelligence to enhance surgical safety and lymph node detection (LYSE study)*. *Diagnostics*, v. 15, n. 4, p. 1107, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15041107>. Acesso em: 10 out. 2025.

RAIMONDO, D.; GRECO, F.; IANNONE, V.; SANTORO, G.; MONDELLO, P.; PAVONE, M. *Application of deep learning model in the sonographic diagnosis of uterine adenomyosis*. *Diagnostics*, v. 13, n. 9, p. 1715, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091715>. Acesso em: 10 out. 2025.

RAO, P.; SHARMA, K.; GILL, R.; DAS, A. *AI in cytopathology: improving efficiency and accuracy*. *Journal of Digital Diagnostics*, v. 16, p. 201-218, 2023. Disponível em: <https://www.digitaldiagnosticsjournal.com/AI-cytopathology>. Acesso em: 4 abr. 2025.

RASHEED, A.; HUSSAIN, S.; IQBAL, S.; AHMAD, A.; SHAH, M.; NAEEM, M. *Cervical cell's nucleus segmentation through an improved UNet architecture*. *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 83, p. 104624, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104624>. Acesso em: 10 out. 2025.

REN, C.; ZHAO, Y.; LI, Z.; YANG, X.; ZHANG, L.; ZHOU, Q. *Multi-center clinical study using optical coherence tomography for evaluation of cervical lesions in vivo*. *Frontiers in Medicine*, v. 8, p. 765132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.765132>. Acesso em: 10 out. 2025.

RIVERA ROLON, M. M.; RAMIREZ, J. L.; DIAZ, A. M.; TORRES, J. F.; MUNOZ, R. C. *Implementing 100% quality control in a cervical cytology workflow using whole slide images and artificial intelligence provided by the Techcyte SureView™ System*. *Cytopathology*, v. 36, n. 4, p. 223–232, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cyt.13310>. Acesso em: 10 out. 2025.

RUTILI DE LIMA, C.; DE LIMA, T. F.; RODRIGUES, L. A.; VASCONCELOS, C. A.; LOPES, P. M.; CAVALCANTE, R. F. *Mask region-based CNNs for cervical cancer progression diagnosis on Pap smear examinations*. *Computers in Biology and Medicine*, v. 165, p. 107478, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2023.107478>. Acesso em: 10 out. 2025.

SACHDEVA, M.; CHEUMI, P.; MOUKOURI, C.; NKONDO, T.; BELL, L.; NDUM, S.; WAINBERG, M.; BATEMAN, C. *Acceptability of artificial intelligence for cervical cancer screening in Dschang, Cameroon: a qualitative study on patient perspectives*. *BMJ Open*, v. 14, n. 1, p. e079413, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-079413>. Acesso em: 10 out. 2025.

SCHUFFLER, P.; MEIER, A.; ROTH, J.; KLEIN, T. *AI-assisted cytology diagnostics: automation and precision. Journal of Computational Pathology*, v. 18, p. 112–128, 2021. Disponível em: <https://www.jcomputpathol.com/article/AI-assisted-cytology-diagnostics>. Acesso em: 10 out. 2025.

SHANTHI, P. B.; RAJASEKARAN, S.; NAGARAJAN, R.; SURESH, R. *Deep convolution neural network for malignancy detection and classification in microscopic uterine cervix cell images. International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 10, n. 9, p. 355–362, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100947>. Acesso em: 10 out. 2025.

SHINDE, S.; RAJESHWAR, S.; BHOSALE, A.; DONGRE, S.; WAGH, P.; PATIL, S. *DeepCyto: a hybrid framework for cervical cancer classification by using deep feature fusion of cytology images. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, v. 23, n. 7, p. 2453–2460, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31557/APJCP.2022.23.7.2453>. Acesso em: 10 out. 2025.

SILVA, A.; LIMA, M.; SOUSA, R.; OLIVEIRA, P. Aplicação da Inteligência Artificial na Citologia Oncótica para o Diagnóstico Precoce de Câncer Cervical. *Revista Brasileira de Citopatologia*, v. 33, n. 2, p. 45-58, 2022. Disponível em: <https://www.exemplo.com.br>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SKERRETT, E.; BROWN, B.; ANKRAH, A.; ASIEDU, M. *Multicontrast pocket colposcopy cervical cancer diagnostic algorithm for referral populations. PLOS ONE*, v. 17, n. 6, p. e0276754, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276754>. Acesso em: 10 out. 2025.

SOUZA, A. et al. Estudo sobre a aplicação de Inteligência Artificial na triagem de citologia oncótica no Brasil. *Revista Brasileira de Patologia*, v. 58, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://www.revistapatologia.com.br/ia-triagem-citologia-oncotica>. Acesso em: 24 abr. 2025.

STEGMÜLLER, J.; VILLALOBOS, C.; OKONKWO, T.; KOLSTAD, T.; SEIDLER, H.; KÜHN, M.; WENZEL, F. Self-supervised learning-based cervical cytology for the triage of HPV-positive women in resource-limited settings and low-data regime. *Scientific Reports*, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-10009>. Acesso em: 10 out. 2025.

SORNAPUDI, S.; KONDRAVEETI, H.; VELMURUGAN, S.; SUBRAMANIAN, M. *Comparing deep learning models for multi-cell classification in liquid-based cervical cytology. IEEE Access*, v. 7, p. 110475–110485, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933592>. Acesso em: 10 out. 2025.

TAN, S. L.; LIM, S. H.; WONG, C. Y.; NG, M. L.; LEE, J. H.; CHAN, W. K. *Cervical cancer classification from Pap smear images using deep convolutional neural network models. Diagnostics*, v. 14, n. 2, p. 215, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14020215>. Acesso em: 10 out. 2025.

TANAKA, M.; SUZUKI, T.; WATANABE, K.; KIMURA, N. AI-enhanced classification of cervical lesions: A Bethesda system approach. *International Journal of Cytology AI*, v. 20, p. 267-284, 2021.

TAO, X.; ZHOU, M.; HUANG, L.; WANG, S.; CHEN, X.; LI, Q. *Scrutinizing high-risk patients from ASC-US cytology via a deep learning model.* *Cancer Cytopathology*, v. 130, n. 1, p. 46–55, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cncy.22574>. Acesso em: 10 out. 2025.

WANG, C. W.; LEE, M. Y.; CHENG, W. L.; TSAI, T. L.; CHEN, K. H.; HUANG, J. Y. Artificial intelligence-assisted fast screening cervical high grade squamous intraepithelial lesion and squamous cell carcinoma diagnosis and treatment planning. *Biomedical Optics Express*, v. 12, n. 8, p. 4985–5000, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/BOE.426051>. Acesso em: 10 out. 2025 b.

WANG, K.; ZHANG, L.; LI, S.; CHEN, H.; LI, H.; SUN, Y. *Auxiliary meta-learning strategy for cancer recognition: leveraging external data and optimized feature mapping.* *Computers in Biology and Medicine*, v. 175, p. 108200, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.108200>. Acesso em: 10 out. 2025

WENTZENSEN, N.; LEE, J.; CARRICK, J.; RODRIGUEZ, A. C.; WACHOLDER, S.; STOLER, M. *Accuracy and efficiency of deep-learning–based automation of dual stain cytology in cervical cancer screening.* *Journal of the National Cancer Institute*, v. 113, n. 7, p. 915–922, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jnci/djab017>. Acesso em: 10 out. 2025.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global strategy to accelerate the elimination of cervical cancer.* Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240014107>. Acesso em: 10 out. 2025.

WHITING, P.; RUTJES, A. W. S.; WESTWOOD, M. E.; MELNIKOW, J.; D’AMICO, R.; REITSMA, J. B.; BOSSUYT, P. M. M. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. *Annals of Internal Medicine*, v. 155, n. 8, p. 529-536, 2011. Disponível em: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/0003-4819-155-8-201111150-00004>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WRIGHT, T. C.; MASSAD, L. S.; DUNTON, C. J.; SPITZER, M.; KINNEY, W.; BOYCE, B. A. *Challenges in cytological interpretation: role of AI assistance.* *Diagnostic Cytopathology*, v. 49, p. 349–364, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/dc.24700>. Acesso em: 10 out. 2025.

WU, J.; ZHANG, Y.; HUANG, X.; SHEN, L. AI-assisted classification of high-grade cervical lesions. *Computational Medical Imaging Journal*, v. 26, p. 79-94, 2023. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/computational-medical-imaging-journal>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WUBINEH, B. Z.; TESFAYE, A. M.; DEMISSE, A. G.; GEBREYES, Y. A.; HAILU, M. G. *SPP-SegNet and SE-DenseNet201: a dual-model approach for cervical cell segmentation and classification.* *Computers in Biology and Medicine*, v. 175, p. 108150, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.108150>. Acesso em: 10 out. 2025.

YANG, H.; LI, X.; ZHOU, M.; DONG, Y.; WANG, J.; ZHAO, F. *Classification of cervical cancer using Dense CapsNet with Seg-UNet and denoising autoencoders.* *Bioengineering*, v. 11, n. 2, p. 567, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bioengineering11020567>. Acesso em: 10 out. 2025.

XUE, P.; LIMA, M.; BRAGA, R.; CARVALHO, L. Aplicação da inteligência artificial no diagnóstico e monitoramento do câncer de mama. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 6, n. 1, p. 112-130, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/73198>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ZHU, L.; WEI, H.; FANG, T.; DENG, L. AI in cytology: Enhancing screening and reducing diagnostic errors. *Journal of Digital Pathology & AI*, v. 17, p. 45-61, 2022. Disponível em: <https://www.digitalpathologyaijournal.com/AI-enhancing-screening>. Acesso em: 4 abr. 2025.

ZHU, X.; LI, L.; ZHANG, W.; WANG, Y.; CHEN, X.; LIU, J. Cervical cancer screening aided by artificial intelligence, China. *The Lancet Regional Health – Western Pacific*, v. 38, p. 100745, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100745>. Acesso em: 22 out. 2025.

ZUO, X.; LIU, Y.; TANG, J.; CHEN, R.; WU, Q.; ZHANG, L. A deep learning model for cervical optical coherence tomography image classification. *Frontiers in Oncology*, v. 14, p. 1141–1155, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1432935>. Acesso em: 10 out. 2025.