

Pesquisa Multidisciplinar EM SAÚDE

EDIÇÃO XVIII

Capítulo 11

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA HISTOPATOLOGIA: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS CLÍNICAS

ESTEFANIE LIMA GARCIA MARQUES¹
FERNANDA HIPÓLITO SANTOS¹
BEATRIZ FERNANDES DE ARAÚJO¹
GEOVANNA FERREIRA DE SOUSA¹
ROBERTA OLIVEIRA FERNANDES¹
ANTONIO BERNARDO LEITE ROCHA¹
MARINA DO NASCIMENTO ALVES¹
HUAN PABLO SOUSA ALENCAR¹
WILLIAM LOFGREN¹

¹Discente – Medicina na Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Histopatologia; Diagnóstico Médico

DOI

10.59290/2862492099

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

Atualmente, a patologia apresenta diversas limitações no diagnóstico de condições clínicas, especialmente devido à complexidade morfológica dos tecidos, à heterogeneidade dos casos e à necessidade de uma interpretação subjetiva, que exige elevada experiência médica. Médicos patologistas com menor tempo de atuação, por exemplo, podem classificar incorretamente determinadas lesões, o que pode acarretar tratamentos inadequados, impactando diretamente a qualidade de vida dos pacientes e conduzindo a desfechos clínicos negativos (ALONSO *et al.*, 2024). Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) surge como uma aliada promissora ao oferecer análises mais precisas, objetivas e consistentes, por meio de algoritmos treinados com milhares de imagens histológicas, reduzindo as variações decorrentes do julgamento humano subjetivo e promovendo maior padronização nos diagnósticos – fator essencial para melhores prognósticos (FÖRSCH *et al.*, 2021).

O uso de IA não representa a substituição dos profissionais da saúde, mas sim um suporte especializado que contribui para maior segurança, consistência e exatidão na prática diagnóstica. Assim, consolida-se como um recurso estratégico para reduzir desigualdades no cuidado médico, ampliando o acesso à saúde de qualidade de forma mais justa e assertiva para todos os pacientes (GRIGNAFFINI *et al.*, 2024).

Na histopatologia, os avanços no uso de ferramentas baseadas em IA são especialmente expressivos no campo diagnóstico. Diversas condições clínicas têm se beneficiado desse suporte. No câncer de próstata, por exemplo, a ferramenta *ArteraAI Prostate Test* apresenta elevada acurácia no estadiamento e diagnóstico da doença (WEGENER *et al.*, 2025). Em lesões

laríngeas, a IA tem se mostrado eficaz na detecção e classificação (MARRERO-GONZÁLEZ *et al.*, 2024), enquanto, em cânceres colorretais metastáticos com amplificação por HER2, os algoritmos de IA têm apresentado resultados promissores tanto na avaliação da condição quanto no tratamento e prognóstico (IMAI *et al.*, 2025). Do mesmo modo, a IA mostra-se precisa na análise da atividade histológica em casos de colite ulcerativa e outras doenças inflamatórias intestinais (PUGA-TEJADA *et al.*, 2025). Para cânceres de pulmão e mama, destaca-se o potencial da IA na predição de biomarcadores moleculares a partir de imagens histológicas (PARRA-MEDINA *et al.*, 2025). Já em cânceres de cabeça e pescoço, como leucoplasias bucais, os sistemas inteligentes contribuem significativamente no diagnóstico e no prognóstico (ANTÔNIO, 2020). Em patologias hepáticas, a IA tem mostrado elevada assertividade na detecção de diferentes hepatopatias (GRIGNAFFINI *et al.*, 2024).

Esses exemplos evidenciam a revolução tecnológica em curso na saúde, com impactos diretos sobre o diagnóstico, tratamento e prognóstico de múltiplas doenças. Além de aumentar a precisão diagnóstica, a IA colabora para mitigar os prejuízos causados pela variabilidade inter e intraobservador, que muitas vezes comprometem a resolução clínica adequada. Por se basearem em bancos robustos de imagens e padrões repetitivos, os algoritmos de IA favorecem uma abordagem mais objetiva, minimizando a subjetividade inerente à análise humana (FARIA, 2022).

Apesar dos avanços, a implementação dessas tecnologias traz consigo importantes debates éticos, legais e técnicos. Um dos principais desafios reside na delimitação da autonomia médica e na responsabilização por decisões clínicas tomadas com o suporte da IA. Em situa-

ções de discordância entre a análise automatizada e a avaliação do patologista, surge o dilema sobre quem deve ser responsabilizado em caso de erro diagnóstico. Essa lacuna é ainda mais sensível em contextos jurídicos onde não há legislação clara sobre a responsabilidade civil e penal em diagnósticos mediados por algoritmos (PAES DE CAMARGO, [s.d.]).

Outro ponto crítico diz respeito à proteção dos dados dos pacientes, visto que o desenvolvimento e o treinamento dessas ferramentas demandam grandes volumes de informações clínicas e histológicas. Surge, assim, o impasse ético relacionado ao consentimento informado e à privacidade, exigindo garantias de anonimização e conformidade com os princípios da bioética (ALONSO *et al.*, 2024). Além disso, o alto custo envolvido na criação, manutenção e atualização das plataformas de IA impõe barreiras técnicas significativas. A necessidade de infraestrutura computacional robusta, interoperabilidade entre sistemas hospitalares, segurança digital e capacitação profissional tornam o processo ainda mais complexo e exigente (FÖRSCH *et al.*, 2021).

Considerando esses elementos, a inteligência artificial se configura como uma ferramenta altamente promissora para superar limitações humanas e aperfeiçoar o diagnóstico histopatológico tradicional. Ao proporcionar análises mais rápidas, padronizadas e assertivas, ela tem o potencial de transformar a atuação médica, minimizando erros diagnósticos e terapêuticos. No entanto, sua aplicação plena requer o enfrentamento de desafios éticos, legais e operacionais. Assim, o futuro da análise digital em patologia dependerá da construção de uma base interdisciplinar sólida, com o envolvimento de profissionais da saúde, juristas, engenheiros e formuladores de políticas públicas, a fim de garantir que os benefícios da tecnologia sejam distribuídos de forma equitativa e segura.

O objetivo deste estudo foi discutir as potencialidades, limitações e desafios da utilização da inteligência artificial na histopatologia, com foco na sua aplicação diagnóstica, implicações éticas e técnicas, e perspectivas para a integração segura e eficaz dessa tecnologia nos sistemas de saúde.

MÉTODO

Este capítulo fundamenta-se em uma revisão integrativa da literatura, com abordagem qualitativa e descritiva, visando analisar o uso da inteligência artificial (IA) na histopatologia médica. A revisão integrativa foi escolhida por possibilitar a síntese de resultados de pesquisas já publicadas, proporcionando uma compreensão abrangente do estado atual da aplicação da IA no diagnóstico histopatológico e seus impactos clínicos, éticos e operacionais.

O delineamento utilizado é do tipo revisão integrativa da literatura científica, método que permite reunir e sintetizar achados de múltiplos estudos empíricos, tanto quantitativos quanto qualitativos, para melhor compreensão de um fenômeno específico. Essa abordagem favorece uma análise crítica e reflexiva do conteúdo, considerando os avanços tecnológicos, desafios metodológicos, limitações e implicações práticas da IA na histopatologia.

A amostra foi composta por 12 artigos científicos selecionados com base em sua relevância, atualidade e adequação ao tema proposto. Os estudos foram extraídos de bases de dados científicas reconhecidas, como PubMed, SciELO, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), repositórios institucionais (como UFU e UFSC), além de plataformas acadêmicas como ProQuest e *Google Scholar*. Foram incluídos artigos publicados entre 2020 e 2024, com foco na aplicação da IA em diagnóstico histopatológico em diferentes especialidades médicas,

como oncologia, hematologia, gastroenterologia e otorrinolaringologia.

Os critérios de inclusão abrangeram:

- Estudos com texto completo disponível em português ou inglês;
- Publicações revisadas por pares;
- Trabalhos que aplicaram ou discutiram diretamente o uso de algoritmos de IA em histopatologia (diagnóstico, prognóstico ou triagem).

Foram excluídos artigos duplicados, estudos sem aplicação prática clara da IA na histopatologia, e textos de opinião sem base empírica.

Para a coleta e organização dos dados, foi utilizada uma planilha estruturada contendo as seguintes variáveis:

- Título do artigo;
- Ano de publicação;
- Autores e país de origem;
- Tipo de estudo (ex.: revisão sistemática, estudo experimental, relato técnico);
- Algoritmo de IA utilizado (ex.: redes neurais convolucionais, *deep learning*, XAI);
- Finalidade da IA (ex.: diagnóstico, estadiamento, prognóstico);
- Resultados principais (acurácia, sensibilidade, especificidade, AUC);

- Limitações relatadas e implicações clínicas.

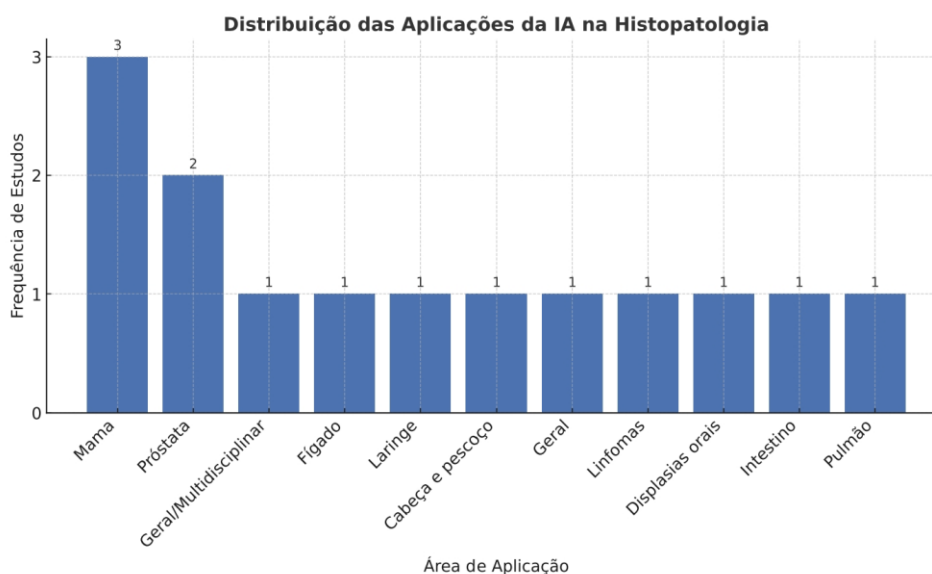
A seleção dos artigos foi realizada por meio da leitura criteriosa dos títulos, resumos e textos completos, de forma independente por dois avaliadores. As buscas foram efetuadas utilizando os seguintes descritores controlados e suas combinações booleanas (em português e inglês):

- Inteligência Artificial *AND* Histopatologia / *Artificial Intelligence AND Histopathology*;
- *Deep Learning AND Pathology*;
- *Computer-aided diagnosis AND Histological images*.

Após a triagem inicial, os artigos selecionados passaram por leitura integral, seguida de análise crítica do conteúdo e extração dos dados relevantes. Posteriormente, foi realizada uma síntese narrativa, discutindo os principais achados em relação às diferentes aplicações da IA na histopatologia, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas de uso clínico.

A análise dos dados não seguiu técnicas estatísticas complexas, uma vez que a natureza dos artigos era predominantemente qualitativa e exploratória, com ênfase na descrição dos modelos utilizados e nos desfechos diagnósticos (**Gráfico 11.1**).

Gráfico 11.1 Distribuição das Aplicações da IA na Histopatologia



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicações em Doença Hepática

Estudos revisados por Grignaffini *et al.* (2024) mostram que a combinação entre patologia digital (DP) e inteligência artificial (IA) tem se mostrado promissora na avaliação de doenças hepáticas. Foram identificados 25 estudos que utilizaram imagens histológicas inteiras (WSI) com métodos de aprendizado de máquina (ML) e aprendizado profundo (DL) para segmentação, extração de características e classificação de imagens hepáticas. A maioria demonstrou bom desempenho diagnóstico, com acurácia comparável à dos patologistas. A IA foi aplicada com sucesso para identificar esteatose, fibrose e inflamação hepática, além de prever progressão de doenças como esteato-hepatite e carcinoma hepatocelular.

Lesões Laríngeas

Segundo Marrero-Gonzalez *et al.* (2025), a IA foi eficaz na detecção e classificação de lesões laríngeas por meio de imagens endo-cópicas, análise de voz e histopatologia. A acurácia combinada dos métodos com IA foi alta, com sensibilidade e especificidade próximas de 91%. Modelos de redes neurais convolucionais (CNNs) foram os mais utilizados. As aplicações abrangeram desde a diferenciação entre lesões benignas e malignas até o estadiamento de tumores. Os resultados indicam que a IA pode reduzir a variabilidade diagnóstica e auxiliar em decisões clínicas mais precoces e precisas.

A IA se destaca pela padronização diagnóstica e alta sensibilidade, especialmente útil em locais com menor acesso a especialistas. A combinação de múltiplas fontes de dados (imagem, voz, histologia) amplia a acurácia diagnóstica e abre caminho para abordagens multimodais.

Diagnóstico de Lesões Bucais

Oliveira (2020) investigou o uso de IA para diferenciar leucoplasia bucal (LB) de leucoplasia verrucosa proliferativa (LVP), ambas com aspectos histológicos semelhantes. O estudo aplicou a rede neural *Mask R-CNN* e atingiu acurácia de 92,95% na identificação de núcleos e uma AUC de 97,06% na diferenciação entre LB e LVP, indicando sua eficácia como ferramenta diagnóstica e na estimativa de risco de transformação maligna.

A IA permite identificar padrões sutis imperceptíveis ao olho humano, facilitando diagnósticos diferenciais difíceis, como no caso entre LB e LVP. Além disso, o uso de IA pode representar um avanço significativo em locais com poucos recursos e patologistas experientes.

Câncer Colorretal Metastático

Segundo o estudo de Ohhara *et al.*, a IA foi utilizada para quantificar a expressão de HER2 em biópsias de câncer colorretal metastático e correlacionar com a resposta ao tratamento com trastuzumabe deruxtecana. A análise automatizada classificou os pacientes em grupos com diferentes níveis de HER2 e microambiente tumoral (TME), permitindo predição precisa de sobrevida e resposta terapêutica. A ferramenta quantitativa de imagem (QCS) com IA aplicada a imuno-histoquímica (IHQ) de HER2 atingiu 86,7% de concordância com a avaliação patológica e 100% de precisão em casos HER2 3+. Assim, se mostrou útil para estratificação prognóstica e decisão terapêutica personalizada.

Doença Inflamatória Intestinal

O estudo de Vázquez *et al.* explorou a IA na avaliação histológica da colite ulcerativa. Foram utilizados modelos treinados com imagens HE digitalizadas para detectar remissão histológica. A IA apresentou desempenho comparável ao de patologistas, com boa sensibilidade e especificidade. A principal vantagem observada

foi a padronização da avaliação, reduzindo variabilidade interobservador e viabilizando o uso em larga escala em ensaios clínicos e ambientes com recursos limitados.

Câncer de Pulmão

O estudo de Coudray *et al.* aplicou redes neurais convolucionais para identificar mutações genéticas diretamente em lâminas HE de adenocarcinomas pulmonares. O modelo foi capaz de prever mutações em genes como EGFR, STK11 e TP53 com bom desempenho. A aplicação dessa abordagem pode antecipar decisões terapêuticas e reduzir dependência de testes moleculares complementares, representando um avanço na oncologia personalizada. A inferência de mutações diretamente a partir de HE representa uma inovação disruptiva, permitindo decisões terapêuticas mais ágeis e baseadas em morfologia digital.

Câncer de Próstata

O estudo ASTuTE demonstrou que a IA pode estratificar melhor o risco de metástase em câncer de próstata localizado. O modelo ArteraAI, treinado com milhares de lâminas, superou os critérios tradicionais da NCCN na predição de metástase e na identificação de pacientes que se beneficiariam da adição de terapia de privação androgênica. A ferramenta mostrou potencial para personalizar tratamentos e evitar terapias desnecessárias.

Os achados desta revisão sugerem que a inteligência artificial (IA) tem desempenhado um papel crescente e impactante na histopatologia médica, especialmente no auxílio ao diagnóstico e à padronização de laudos. Estudos como o de Steiner *et al.* demonstram como algoritmos de aprendizado profundo podem superar patologistas humanos na detecção de metástases micrometastáticas, o que reforça o potencial da IA como ferramenta complementar na prática clínica.

Além disso, as aplicações de IA se mostraram úteis na redução de vieses humanos, na análise de grandes volumes de dados histológicos e na melhoria da acurácia diagnóstica. Contudo, esses avanços não ocorrem sem desafios. A maioria dos estudos disponíveis foi conduzida em ambientes controlados, com conjuntos de dados específicos e balanceados, o que pode limitar a generalização dos resultados para a prática clínica rotineira.

Outro ponto a ser considerado é a necessidade de validação externa dos algoritmos e a transparência nos critérios utilizados para treinamento das redes neurais, já que o funcionamento interno de muitos sistemas de IA ainda é considerado uma “caixa preta”. Isso levanta discussões éticas importantes sobre responsabilidade médica, confiabilidade do diagnóstico e a necessidade de supervisão humana contínua.

Portanto, embora a IA represente uma revolução promissora na histopatologia, seu uso clínico ainda exige precauções, testes em larga escala e regulamentações específicas. O futuro da área dependerá da integração equilibrada entre tecnologia e atuação médica, com foco na segurança, na ética e na melhoria dos desfechos clínicos.

CONCLUSÃO

A inteligência artificial representa um marco transformador na histopatologia, com potencial para elevar a acurácia diagnóstica e otimizar decisões terapêuticas. Entretanto, sua implementação exige validação rigorosa, padronização de processos e abordagens éticas claras. O papel do patologista permanece central, agora como mediador entre o conhecimento técnico-científico e as novas possibilidades oferecidas pelas ferramentas digitais. A sinergia entre humanos e máquinas tende a definir o futuro da patologia translacional na medicina personalizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, T.R. *et al.* Uso da Inteligência Artificial na Medicina Contemporânea - Uma Revisão Integrativa: Use of Artificial Intelligence in Contemporary Medicine - An Integrative Review. *Revista de Epidemiologia e Saúde Pública* - RESP, v. 2, n. 1, 2024.

ANTÔNIO, P.A. Uso da inteligência artificial na caracterização nuclear e classificação entre leucoplasia bucal e leucoplasia verrucosa proliferativa. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural Aplicadas) – Universidade Federal de Uberlândia, 2020. DOI: 10.14393/ufu.di.2020.710.

DETEÇÃO de cancro da próstata por inteligência artificial em Histopatologia: Uma revisão bibliográfica. ProQuest Dissertations. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/8e40fab0c2e91a78cd39acfa00221563/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 15 set. 2025.

FARIA, T. P. Metodologia para a classificação multiclasse de imagens histológicas baseada em inteligência artificial explicável. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

FÖRSCH, S. *et al.* Artificial intelligence in pathology. *Deutsches Aerzteblatt Online*, v. 118, n. 12, 2021. DOI:10.3238/arztebl.m2021.0156.

GRIGNAFFINI, F. *et al.* The Use of Artificial Intelligence in the Liver Histopathology Field: A Systematic Review. *Diagnostics*, v. 14, n. 4, p. 388, 2024. DOI:10.3390/diagnostics14040388.

IMAI, M. *et al.* Artificial Intelligence-Powered Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 and Tumor Microenvironment Analysis in Human Epidermal Growth Factor Receptor 2-Amplified Metastatic Colorectal Cancer: Exploratory Analysis of Phase II TRIUMPH Trial. *JCO Precision Oncology*, v. 9, p. e2400385, 2025. DOI:10.1200/PO.24.00385.

MARRERO-GONZALEZ, A.R. *et al.* Application of artificial intelligence in laryngeal lesions: a systematic review and meta-analysis. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, v. 282, n. 3, p. 1543-1555, 2024. DOI:10.1007/s00405-024-08457-7.

PAES DE CAMARGO, D. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Farmacologia. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/-bitstream/handle/123456789/265784/PFMC-P0081-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 set. 2025.

PARRA-MEDINA, R. *et al.* Deep learning in histopathology images for prediction of oncogenic driver molecular alterations in lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Translational Lung Cancer Research*, v. 14, n. 5, p. 1756-1769, 2025. DOI:10.21037/tlcr-24-90.

PUGA-TEJADA, M. *et al.* Artificial Intelligence-Enabled Histology Exhibits Comparable Accuracy to Pathologists in Assessing Histological Remission in Ulcerative Colitis: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression. *Journal of Crohn's and Colitis*, v. 19, n. 1, 2025. DOI:10.1093/ecco-jcc/jjae001.

WEGENER, E. *et al.* A multicentre implementation trial of an Artificial Intelligence-driven biomarker to inform shared decisions for androgen deprivation therapy in men undergoing prostate radiotherapy: the ASTuTE protocol. *BMC Cancer*, v. 25, n. 1, p. 250, 2025. DOI:10.1186/s12885-025-12345-6.