

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA HISTOMORFOMETRIA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HISTOMORPHOMETRY: AN INTEGRATIVE REVIEW

Karine do Carmo Leandro Correia¹, Pietra Marques Pereira Lima¹, Yasmim Gabrielle Rodrigues Amorim¹, Lusiana Barros de Sousa¹ Maria Clara Camboim Câmara de Souza¹ Sabrina Gomes de Oliveira²

1. Acadêmica do curso de Medicina da Afya – Maceió, maria.souza@alunos.afya.com.br ; **2.** Docente do curso de medicina da Afya- Maceió.

Eixo Temático: 03

RESUMO

Introdução: A histomorfometria, definida como a análise quantitativa das estruturas teciduais, tradicionalmente depende da mensuração manual sob microscopia óptica, processo demorado e sujeito à variabilidade entre observadores. A digitalização de lâminas histológicas viabilizou a aplicação de algoritmos de inteligência artificial, especialmente os baseados em aprendizado profundo, na quantificação automatizada de tecidos, mas ainda há lacuna na sistematização desse conhecimento. **Objetivo:** revisar e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre a aplicação de algoritmos de inteligência artificial na quantificação morfométrica automatizada de estruturas teciduais, identificando suas principais vantagens e limitações em comparação à histomorfometria manual tradicional. **Método:** trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada nas bases PubMed, LILACS, SciELO e Scopus, entre janeiro de 2019 e agosto de 2026, combinando descritores relacionados a inteligência artificial, aprendizado profundo e histomorfometria, com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. **Resultados:** os estudos selecionados foram agrupados em quatro categorias temáticas, tecido nervoso periférico, patologia oncológica, nefropatologia e revisões metodológicas sobre aprendizado profundo em patologia computacional, e evidenciaram que algoritmos baseados em redes neurais convolucionais alcançam precisão comparável, e em alguns casos superior, à análise manual, reduzindo significativamente o tempo de processamento e a variabilidade entre observadores, com maturidade desigual entre as áreas estudadas. **Conclusão:** a incorporação dessas ferramentas à prática histológica e ao ensino médico apresenta potencial relevante, ainda que desafios relacionados à padronização e à validação clínica permaneçam como barreiras a serem superadas em pesquisas futuras.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Aprendizado Profundo. Histologia. Patologia. Processamento de Imagem Assistido por Computador.

ABSTRACT

Introduction: Histomorphometry, defined as the quantitative analysis of tissue structures, traditionally relies on manual measurement under light microscopy, a time-consuming process subject to interobserver variability. The

digitization of histological slides has enabled the application of artificial intelligence algorithms, particularly those based on deep learning, to the automated quantification of tissues, although a gap remains in the systematization of this knowledge. **Objective:** to review and synthesize the available scientific evidence on the application of artificial intelligence algorithms to the automated morphometric quantification of tissue structures, identifying their main advantages and limitations compared to traditional manual histomorphometry. **Method:** this is an integrative literature review, conducted in the PubMed, LILACS, SciELO, and Scopus databases, between January 2019 and August 2026, combining descriptors related to artificial intelligence, deep learning, and histomorphometry, with previously defined inclusion and exclusion criteria. **Results:** the selected studies were grouped into four thematic categories, peripheral nerve tissue, oncological pathology, nephropathology, and methodological reviews on deep learning in computational pathology, and showed that algorithms based on convolutional neural networks achieve accuracy comparable to, and in some cases superior to, manual analysis, significantly reducing processing time and interobserver variability, with uneven maturity across the areas studied. **Conclusion:** the incorporation of these tools into histological practice and medical education presents relevant potential, although challenges related to standardization and clinical validation remain barriers to be overcome in future research.

Keywords: Artificial Intelligence. Deep Learning. Histology. Pathology. Image Processing, Computer-Assisted.

INTRODUÇÃO

A histomorfometria, definida como a análise quantitativa das características estruturais dos tecidos biológicos, é uma ferramenta essencial na histologia e na patologia. Tradicionalmente, depende da mensuração manual de parâmetros como densidade celular e área de estruturas teciduais, realizada por especialistas sob microscopia óptica, esse processo é demorado e sujeito à variabilidade interobservador. Nas últimas décadas, a digitalização de lâminas histológicas por meio do Whole Slide Imaging (WSI) viabilizou a aplicação de algoritmos de inteligência artificial (IA), especialmente de deep learning, na quantificação automatizada de estruturas teciduais.

A relevância científica desse avanço é evidenciada pelo crescimento expressivo da área: o número de publicações sobre deep learning em histopatologia saltou de 301 em 2018 para 2535 em 2024¹. Do ponto de vista social e assistencial, a automação da histomorfometria tende a reduzir a variabilidade interobservador e o tempo diagnóstico, bem como demonstrado em um modelo de deep learning para fibras nervosas periféricas, cujos resultados superaram a concordância da morfometria manual em relação ao padrão-referência, reduzindo o tempo de análise para menos de 2,5% do necessário manualmente², o qual favorece maior agilidade e acesso a diagnósticos de qualidade no sistema de saúde.

Apesar desse crescimento, ainda há lacuna na sistematização do conhecimento sobre como essas ferramentas de IA têm sido efetivamente aplicadas à quantificação morfométrica de tecidos, quais suas vantagens comprovadas e quais limitações persistem frente ao método manual, sobretudo em uma perspectiva integrativa que reúna diferentes contextos teciduais. Essa lacuna justifica a presente revisão, uma vez que compreender esse panorama é cada vez mais indispensável para estudantes e profissionais da saúde à medida que a IA se integra à rotina diagnóstica em patologia¹.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar o papel da inteligência artificial na histomorfometria.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura. A busca foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, LILACS, SciELO e Scopus, considerando publicações indexadas entre janeiro de 2019 e agosto de 2026, combinando os descritores “Inteligência Artificial” OR “Artificial Intelligence” AND “Aprendizado Profundo” OR “Deep Learning” AND “Histomorfometria” OR “Morphometry” AND “Patologia Digital” OR “Digital Pathology”. Foram incluídos estudos originais, revisões sistemáticas ou integrativas, em português, inglês ou espanhol, disponíveis na íntegra, que abordassem explicitamente a aplicação de IA na quantificação morfométrica de estruturas teciduais; foram excluídos cartas ao editor, resumos de congresso, estudos sem envolvimento de tecido biológico e trabalhos sem acesso ao texto completo. Após a busca inicial e a remoção de duplicatas, os estudos foram triados por relevância ao tema, avaliados na íntegra conforme os critérios definidos e, por fim, categorizados por tipo de tecido analisado, tipo de algoritmo empregado e principais desfechos relatados.

RESULTADOS

Os estudos selecionados foram agrupados em quatro categorias temáticas, conforme o tipo de tecido ou contexto de aplicação da IA: histomorfometria de tecido nervoso periférico, patologia digital oncológica, nefropatologia digital e revisões metodológicas sobre deep learning em patologia computacional. O Quadro 1 sintetiza os estudos incluídos, os algoritmos empregados e os principais achados de cada categoria.

Quadro 1 – Síntese dos estudos incluídos sobre IA aplicada à histomorfometria e patologia digital

Categoria temática	Estudo	Tipo de algoritmo	Principal achado
Tecido nervoso periférico	Daeschler et al. ²	CNN (AxonDeepSeg)	Concordância superior ao método manual; tempo reduzido a <2,5%
Patologia oncológica	Rabilloud et al. ⁴	Diversos modelos DL (77 estudos)	53 estudos focados em diagnóstico/graduação de Gleason
Nefropatologia	Bülow et al. ⁵	Análise de imagem assistida por DL	Suporte ao exame tecidual renal digitalizado
Revisões metodológicas	Komura et al. ¹ ; Sabouri Rad et al. ³	Frameworks diversos (QC, segmentação, SSL)	Crescimento de 8x nas publicações (2018–2024); avanços em escala e precisão

Fonte: elaborado pela autora, 2026.

Em relação ao tecido nervoso periférico, Daeschler et al.² empregaram uma rede neural convolucional (CNN) por meio da ferramenta AxonDeepSeg, treinada para segmentar automaticamente axônios e bainhas de mielina em imagens histológicas. O algoritmo identifica, pixel a pixel, os limites dessas estruturas e calcula parâmetros morfométricos (como diâmetro axonal e espessura da mielina) que tradicionalmente exigiriam contagem e medição manual sob microscopia. Os autores relataram concordância superior à obtida pelo método manual, além de redução do tempo de análise para menos de 2,5% do tempo originalmente necessário, evidência do ganho de eficiência que a automação proporciona em tarefas de alta granularidade, como a quantificação de fibras nervosas.

Na patologia oncológica, Rabilloud et al.⁴ realizaram uma revisão de 77 estudos que utilizaram diferentes arquiteturas de deep learning (não se restringindo a CNNs, mas incluindo variações e combinações de modelos), aplicadas majoritariamente ao diagnóstico e à graduação histológica de neoplasias, com destaque para a graduação de Gleason em câncer de próstata, tarefa historicamente marcada por variabilidade interobservador entre patologistas. A concentração de 53 desses estudos em tarefas diagnósticas indica que essa é a categoria com maior maturidade clínica dentro do campo.

Já na nefropatologia, Bülow et al.⁵ descrevem o uso de análise de imagem assistida por deep learning como ferramenta de suporte à avaliação de biópsias renais digitalizadas, auxiliando o patologista na identificação de estruturas glomerulares e tubulares, mas sem substituir a interpretação humana, o que reforça o caráter ainda complementar, e não substitutivo, da IA nesse contexto.

Por fim, as revisões metodológicas de Komura et al.¹ e Sabouri Rad et al.³ abordam frameworks mais amplos, como controle de qualidade de imagem (QC), segmentação

automatizada e aprendizado autos supervisionado (SSL - self-supervised learning), técnica que permite treinar modelos com menor dependência de grandes volumes de dados rotulados manualmente. Os autores documentam um crescimento de oito vezes no número de publicações entre 2018 e 2024, acompanhado de avanços na escala e na precisão dos algoritmos empregados.

Outro achado transversal às categorias é a convergência metodológica: independentemente do tecido analisado, os estudos recorrem majoritariamente a redes neurais convolucionais como arquitetura de base, o que indica certa padronização técnica do campo mesmo diante da diversidade de aplicações clínicas. Esse padrão é corroborado pelas revisões metodológicas mais amplas, que apontam não apenas o crescimento expressivo do número de publicações na última década, mas também o refinamento progressivo dessas arquiteturas para tarefas cada vez mais específicas, como controle de qualidade de imagem e segmentação de estruturas de interesse.

De modo geral, observa-se que a aplicação de IA à histomorfometria é mais consolidada em contextos em que a mensuração manual é particularmente trabalhosa ou sujeita a maior variabilidade, o que sugere que o ganho de eficiência da automação é proporcional à complexidade da tarefa manual que ela substitui. Ainda assim, nota-se uma diferença de maturidade entre as categorias: enquanto o uso de deep learning em patologia oncológica já concentra a maioria dos estudos voltados a tarefas diagnósticas propriamente ditas, na nefropatologia a literatura ainda trata a IA sobretudo como tecnologia de suporte ao patologista, e não como substituta da avaliação humana.

CONCLUSÃO

A inteligência artificial, sobretudo por meio de algoritmos de deep learning, tem se consolidado como ferramenta capaz de automatizar a quantificação morfométrica de estruturas teciduais com precisão comparável, e, em alguns casos, superior à análise manual tradicional, reduzindo substancialmente o tempo de processamento e a variabilidade interobservador. Ao reunir e sistematizar evidências provenientes de diferentes contextos histológicos, do tecido nervoso periférico à patologia oncológica e renal, esta revisão contribui para consolidar um panorama ainda fragmentado na literatura, evidenciando o caráter transversal e a maturidade desigual dessas tecnologias entre as diferentes áreas da histopatologia.

Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que a incorporação de ferramentas de IA à rotina histológica e ao ensino da disciplina pode otimizar processos diagnósticos e formativos, ainda que desafios relacionados à padronização, à validação clínica e ao

treinamento de profissionais permaneçam como barreiras a serem superadas. Como perspectiva para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos comparativos multicêntricos e a investigação do impacto pedagógico dessas tecnologias na formação de estudantes de medicina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Komura D, Ochi M, Ishikawa S. Machine learning methods for Histopathological Image Analysis: Updates in 2024. *Comput Struct Biotechnol J*. 2024 Dec 30.
2. Daeschler SC, Bourget MH, Derakhshan D, Sharma V, Asenov SI, Gordon T, et al. Rapid, automated nerve histomorphometry through open-source artificial intelligence. *Sci Rep*. 2022 Apr 8; 12:5975.
3. Sabouri Rad M, Huang JV, Hosseini MM, Choudhary R, Siezen H, Akabari R, et al. Deep learning for digital pathology: A critical overview of methodological framework. *J Pathol Inform*. 2025 Sep 8;19:100514.
4. Rabi8; 19:100514laume P, Acosta O, De Crevoisier R, Bourgade R, Loussouarn D, et al. Deep Learning Methodologies Applied to Digital Pathology in Prostate Cancer: A Systematic Review. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Aug 14;13(16):2676.
5. Bülow RD, Marsh JN, Swamidass SJ, Gaut JP, Boor P. The potential of artificial intelligence-based applications in kidney pathology. *Curr Opin Nephrol Hypertens*. 2022 May;31(3):251-257.