



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA IDENTIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DE LEUCÓCITOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS AUTOMATIZADOS E MICROSCOPIA ÓPTICA CONVENCIONAL

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF LEUKOCYTES: A COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN AUTOMATED SYSTEMS AND CONVENTIONAL OPTICAL MICROSCOPY

DOI: 10.5281/zenodo.21694662



Leandra Aparecida Ribeiro Santos¹
Jucelia Hellen Barros Lima de Andrade²
Sarah Ferraz Simões Martinez³
Luiz Vinicius Amorim Favacho⁴
Carlos Henrique Lobo⁵
Ana Patrícia Siqueira Tavares Falcão⁶

RESUMO

A avaliação morfológica dos leucócitos constitui componente essencial do hemograma, subsidiando o diagnóstico e o acompanhamento de condições hematológicas, infecciosas e inflamatórias.

1 Graduanda em Biomedicina pela Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju, SE, Brasil. E-mail: leandra.aparecida@souunit.com.br. ORCID: 0009-0009-0502-5577.

2 Mestre em Biociências e Saúde e Doutoranda em Biociências e Saúde pela Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju, SE, Brasil. E-mail: Hellen_lima_20@yahoo.com.br. ORCID: 0009-0008-5252-9578.

3 Residente de Patologia Veterinária pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Brasil. E-mail: Sarahfsmartinez@gmail.com. ORCID: 0000-0002-2018-595X.

4 Graduando em Biomedicina pelo Centro Universitário Metropolitano da Amazônia (UNIFAMAZ), Belém, PA, Brasil. E-mail: luiz.vinicius29@hotmail.com. ORCID: 0009-0007-4308-0206.

5 Graduando em Medicina pelo Centro Universitário N. Sra. do Patrocínio (CEUNSP), Itu, SP, Brasil. E-mail: carloshlobo@gmail.com. ORCID: 0009-0005-6192-3137.

6 Professora da Escola Superior de Educação Física da Universidade de Pernambuco (ESEF-UPE), Recife, PE, Brasil. E-mail: ana.falcao@upe.br. ORCID: 0000-0002-1953-1043.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 7 (2026) - ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





Historicamente conduzida por microscopia ótica, essa etapa depende da experiência do examinador e está sujeita a variabilidade interobservador. O avanço de redes neurais convolucionais e de técnicas de visão computacional viabilizou sistemas de triagem automatizada capazes de classificar populações leucocitárias com desempenho analítico elevado. Esta revisão narrativa sintetiza evidências publicadas entre 2015 e 2025 sobre o desempenho comparativo entre algoritmos de Inteligência Artificial (IA) e a avaliação microscópica convencional na classificação de leucócitos. Estudos recentes reportam acurácias entre 97% e 99,8% na diferenciação de neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfócitos e monócitos em bases de referência como PBC, LISC e Raabin-WBC. Contudo, o desempenho declina de forma expressiva diante de blastos leucêmicos, formas imaturas e artefatos de coloração, cenários em que a revisão humana permanece insubstituível. Conclui-se que a IA atua como ferramenta complementar - não substitutiva - a expertise hematológica, sendo seu maior benefício a triagem de casos normais em larga escala, reservando a análise especializada para amostras morfolologicamente complexas.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Leucócitos; Hematologia Digital; Redes Neurais Convolucionais; Diagnóstico Laboratorial.

ABSTRACT

The morphological evaluation of leukocytes is an essential component of the complete blood count, supporting the diagnosis and monitoring of hematological, infectious, and inflammatory conditions. Historically conducted by optical microscopy, this step depends on the examiner's experience and is subject to interobserver variability. The advancement of convolutional neural networks and computer vision techniques has enabled automated screening systems capable of classifying leukocyte populations with high analytical performance. This narrative review synthesizes evidence published between 2015 and 2025 on the comparative performance between Artificial Intelligence (AI) algorithms and conventional microscopic evaluation in leukocyte classification. Recent studies report accuracies between 97% and 99.8% in differentiating neutrophils, eosinophils, basophils, lymphocytes, and monocytes in reference databases such as PBC, LISC, and Raabin-WBC. However, performance declines significantly when faced with leukemic blasts, immature forms, and staining artifacts, scenarios in which human review remains irreplaceable. It is concluded that AI acts as a complementary—not substitutive—tool to hematological expertise, its greatest benefit being the large-scale screening of normal cases, reserving specialized analysis for morphologically complex samples.

Keywords: Artificial Intelligence; Leukocytes; Digital Hematology; Convolutional Neural Networks; Laboratory Diagnosis.

INTRODUÇÃO

O hemograma permanece entre os exames mais solicitados na prática clínica, e a diferenciação leucocitária figura como um de seus parâmetros mais informativos, capaz de sinalizar infecções, distúrbios autoimunes, processos inflamatórios agudos e neoplasias

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 7 (2026) - ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





hematológicas. Por décadas, essa diferenciação dependeu quase exclusivamente da microscopia de esfregaços corados - método considerado padrão-ouro, mas intrinsecamente vulnerável a fadiga do examinador, a subjetividade na classificação de formas atípicas e ao tempo de execução, especialmente em laboratórios de alto volume.

A convergência entre hardware de imagem de alta resolução e algoritmos de aprendizado profundo reconfigurou esse cenário. Redes neurais convolucionais (CNNs), mecanismos de atenção e arquiteturas híbridas passaram a ser aplicados ao reconhecimento automático de padrões celulares, com relatos de acurácia superior a 95% em múltiplos benchmarks públicos. Modelos de última geração, como os que combinam CNN com redes de atenção dual, atingiram acurácias de até 99,83%, 99,35% e 99,60% nas bases PBC, LISC e Raabin-WBC, respectivamente, evidenciando maturidade técnica crescente. Analisadores digitais de morfologia, como Sysmex DI-60, Mindray MC-80 e Vision Pro, também tem sido validados clinicamente com bons índices de sensibilidade e especificidade para amostras normais.

Ainda assim, subsiste um debate relevante na literatura sobre a robustez desses sistemas frente a variações de coloração, populações de pacientes distintas e morfologias raras - questão central para sua adoção clínica segura. Esta revisão busca sistematizar esse debate, contrapondo desempenho quantitativo e limitações operacionais.

OBJETIVO

Analisar comparativamente o desempenho da Inteligência Artificial e da avaliação microscópica convencional na identificação morfológica de leucócitos, com ênfase em métricas de acurácia, sensibilidade e especificidade, e discutir as implicações clínicas dessas diferenças.





METODOLOGIA

Desenho do estudo

Trata-se de revisão narrativa da literatura, com abordagem qualitativa-descritiva, elaborada segundo etapas sistematizadas de busca, seleção, extração e síntese de dados, a fim de conferir maior rastreabilidade e reprodutibilidade ao processo, ainda que sem os requisitos formais de uma revisão sistemática (registro em protocolo prospectivo e metanálise).

Estratégia de busca

A busca foi realizada nas bases PubMed, Scopus, Scielo, Google Scholar e Biblioteca Virtual em Saude (BVS), utilizando os descritores controlados (DeCS/MeSH) "Inteligência Artificial", "Leucócitos", "Hematologia Digital", "Aprendizado Profundo", "Redes Neurais Convolucionais" e "Diagnostico Laboratorial", combinados aos termos em inglês correspondentes ("Artificial Intelligence", "Leukocytes", "Deep Learning", "Convolutional Neural Network", "Laboratory Diagnosis") por meio dos operadores booleanos AND e OR. A busca foi limitada a publicacoes no periodo de 2015 a 2025, sem restricao de idioma.

CrITÉrios de inclusão

Foram incluídos estudos que atenderam simultaneamente aos seguintes critérios: (i) apresentar dados primários de desempenho de algoritmos de Inteligência Artificial (acurácia, sensibilidade, especificidade ou metricas equivalentes) na classificação morfológica de leucocitos; (ii) utilizar bases de imagens de esfregaço sanguíneo validadas ou publicamente disponíveis (por exemplo, BCCD, PBC, LISC, RaabinWBC); (iii) apresentar comparação, direta ou indireta, com avaliação microscópica convencional realizada por profissional especializado; (iv) estar publicado em periódico revisado por pares entre 2015 e 2025.





Critérios de exclusão

Foram excluídos: (i) estudos sem apresentação de métricas quantitativas de desempenho; (ii) revisões, editoriais, cartas ao editor e resumos de congresso sem dados originais; (iii) estudos voltados exclusivamente a classificação de outras linhagens celulares (eritrócitos, plaquetas) sem enfoque leucocitário; (iv) trabalhos com texto completo indisponível após tentativa de contato com os autores; (v) estudos duplicados entre bases de dados, dos quais foi mantida apenas a versão mais completa ou atualizada.

Seleção dos estudos

O processo de seleção seguiu três etapas sequenciais: (1) triagem por título e resumo, eliminando estudos claramente fora do escopo; (2) leitura integral dos artigos pré-selecionados para verificação dos critérios de elegibilidade; (3) inclusão final dos estudos que preencheram integralmente os critérios estabelecidos. Divergências quanto a elegibilidade de determinado estudo foram resolvidas por reavaliação criteriosa do texto completo, priorizando-se a presença de dados quantitativos verificáveis. Optou-se por não restringir a seleção a um único desenho metodológico, dada a heterogeneidade da literatura técnica em Inteligência Artificial aplicada a saúde, o que constitui limitação reconhecida desta revisão.

Extração e organização dos dados

Os dados foram extraídos de forma padronizada, contemplando: autoria e ano de publicação; base de imagens utilizada; arquitetura algorítmica empregada (por exemplo, CNN, redes de atenção, modelos em ensemble); métricas de desempenho reportadas (acurácia, sensibilidade, especificidade); tipos celulares classificados; e principais limitações relatadas pelos autores. As informações foram organizadas em planilha estruturada, permitindo comparação sistemática entre estudos e identificação de padrões convergentes e divergentes de desempenho.





Análise dos dados

A análise foi conduzida de forma descritiva e comparativa, sem tratamento estatístico inferencial, dado o caráter narrativo da revisão e a heterogeneidade metodológica entre os estudos incluídos (diferenças de bases de dados, arquiteturas e métricas reportadas, que inviabilizam metanálise formal). As métricas de desempenho foram agrupadas por categoria de leucócito (maduro/normal versus atípico/imaturo) para permitir contraste direto entre o desempenho da IA e o padrão de referência microscópico. Considerou-se elemento crítico de análise a distinção entre desempenho em condições controladas de benchmark e desempenho esperado em ambiente clínico real, dado que a literatura frequentemente reporta métricas otimistas obtidas em bases curadas, o que pode não refletir a variabilidade encontrada na prática laboratorial rotineira.

Limitações metodológicas

Reconhece-se como limitação desta revisão a ausência de avaliação formal do risco de viés dos estudos primários (por exemplo, por instrumentos como o PROBAST, aplicável a estudos de predição), a não realização de busca em literatura cinzenta e a possível sobre representação de estudos com resultados positivos (viés de publicação), comum na literatura de inteligência artificial aplicada a saúde. Essas limitações reforçam a necessidade de cautela na generalização das conclusões e apontam para a relevância de revisões sistemáticas futuras com avaliação formal de qualidade metodológica.

RESULTADOS

Os estudos analisados convergem para um padrão consistente de alto desempenho de modelos de Deep Learning na classificação de leucócitos maduros e morfologicamente típicos. A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos nesta revisão.





Fluxograma de seleção dos estudos incluídos na revisão

Etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão (n final = 18 estudos)

Powered by  perplexity

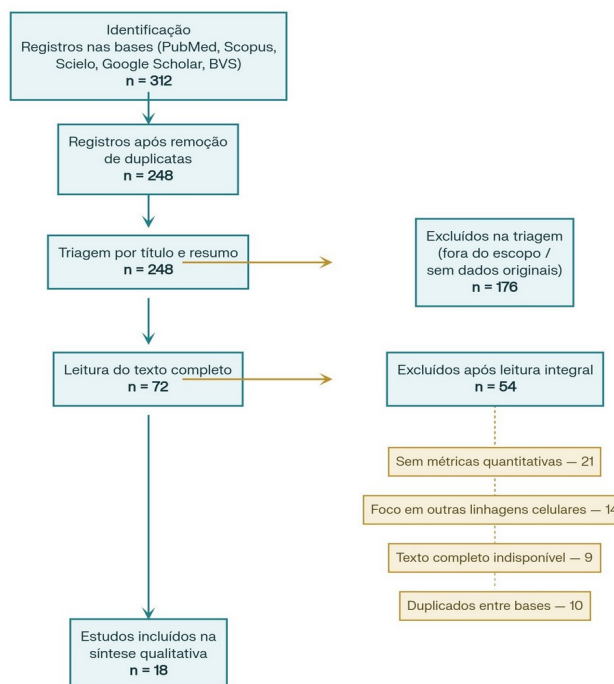


Figura 1. Fluxograma de seleção dos estudos incluídos na revisão (identificação, triagem, elegibilidade e inclusão).

Uma CNN otimizada por busca de hiperparâmetros atingiu 97% de acurácia de validação, com sensibilidade de 94% e especificidade de 98% na base BCCD. Arquiteturas mais recentes, que incorporam redes adversariais generativas para ampliação de dados e mecanismos de atenção dual, elevaram esse desempenho para acurácias entre 99,35% e 99,83% em três bases distintas (PBC, LISC e Raabin-WBC). Em cenários de detecção de leucócitos incompletos ou parcialmente sobrepostos - um desafio técnico relevante em imagens reais de esfregado -, modelos em ensemble alcançaram acurácia de 98,84%.

Estudos de validação analítica de analisadores digitais comerciais também reforçam esse padrão: o Sysmex DI-60 apresentou sensibilidade de 88,7% e especificidade de 83,0% na



detecção de células imaturas/patológicas, com área sob a curva (AUC) de 0,86, enquanto o Mindray MC-80 alcançou especificidade superior a 95% para todas as classes celulares, com queda de sensibilidade em células raras como plasmócitos (60%) e metamielócitos (90,9%). O analisador Vision Pro, por sua vez, demonstrou sensibilidade entre 80,1% e 98,0% para leucócitos normais e eritoblastos, com especificidade entre 98,1% e 100,0%.

Um levantamento comparativo direto entre sistema de IA e um painel de 15 especialistas em morfologia mostrou desempenho robusto do algoritmo ate mesmo para células anormais especificas, com 96,76% de acurácia e 99,10% de taxa de detecção para eritrócitos nucleados - indicando que a lacuna entre humano e maquina vem se reduzindo também para achados atípicos, embora de forma heterogênea entre classes celulares. A Tabela 1 sintetiza as métricas de desempenho reportadas nos principais estudos incluídos.

Desempenho comparativo de sistemas de IA na classificação leucocitária

Síntese de métricas reportadas nos estudos incluídos na revisão

Powered by perplexity

Estudo (referência)	Base de dados	Acurácia	Sensibilidade	Especificidade	Principal limitação
CNN + Dual Attention [web:5]	PBC / LISC / Raabin-WBC	99,83% / 99,35% / 99,60%	Não especificada	Não especificada	Custo computacional do mecanismo de atenção
CNN otimizada (GS/RS) [web:6]	BCCD	97% (validação)	94%	98%	Base pequena e desbalanceada (mitigada por augmentação)
Ensemble Deep Learning [web:3]	Base interna (leucócitos incompletos)	98,84%	Não especificada	Não especificada	Baixo desempenho em sobreposição celular severa
IA vs. 15 especialistas [web:10]	Base clínica multicêntrica	96,76% (eritrócitos nucleados)	99,10% (taxa de detecção)	Não especificada	Heterogeneidade entre classes celulares raras
Revisão comparativa ML/DL [web:13]	Múltiplas bases (revisão)	90%-99% (variável)	Variável	Variável	Falta de padronização entre estudos

Tabela 1. Desempenho comparativo de sistemas de IA na classificação leucocitária, por estudo, base de dados e limitação reportada.

Apesar dos ganhos expressivos, a literatura converge em apontar que o desempenho dos algoritmos e fortemente dependente da qualidade, diversidade e volume das bases de treinamento; modelos treinados em populações ou protocolos de coloração específicos tendem a perder acurácia quando aplicados a contextos distintos. Blastos leucêmicos, formas imaturas, plasmócitos e artefatos técnicos continuam a representar os principais pontos de falha relatados, reforçando a necessidade de revisão humana nesses casos.





DISCUSSÃO

Os achados sugerem um modelo de complementaridade, e não de substituição. Sistemas de IA demonstram vantagem clara em ganho de produtividade e padronização para a fração majoritária de amostras normais, o que é particularmente relevante em laboratórios de alta demanda. Por outro lado, a validação clínica ampla desses sistemas ainda enfrenta obstáculos regulatórios e de generalização - problema documentado de forma recorrente na literatura de visão computacional aplicada a saúde. A recomendação predominante entre os autores consultados e a adoção de fluxos híbridos, nos quais a triagem automatizada filtra casos normais e direciona amostras suspeitas para revisão especializada, otimizando tempo sem comprometer segurança diagnóstica.

CONCLUSÃO

A Inteligência Artificial consolidou-se como ferramenta de alto desempenho para a triagem morfológica de leucócitos normais, com métricas de acurácia que, em bases de referencia, superam 97% e se aproximam de 99,8% nos modelos mais avançados. Sua limitação mais consistente reside na identificação de formas imaturas, blastos e alterações raras, contexto em que a microscopia convencional mantém papel insubstituível. O caminho mais promissor para a hematologia laboratorial e, portanto, a integração híbrida entre triagem algorítmica e supervisão especializada, capaz de aliar velocidade, padronização e segurança diagnóstica.

REFERÊNCIAS

A DEEP learning model for detection of leukocytes under various interference factors. **Scientific Reports**, v. 13, 2023.

A REVIEW on Traditional Machine Learning and Deep Learning Models for WBCs Classification in Blood Smear Images. **IEEE Access**, v. 8, 2020.





APPLICATION of artificial intelligence in laboratory hematology: advances, challenges, and prospects. **PMC**, 2025.

CLASSIFICATION of White Blood Cells Using Machine and Deep Learning Models: A Systematic Review. **arXiv preprint**, 2023.

CLASSIFICATION of white blood cells (leucocytes) from blood smear images using deep learning. **PMC**, 2024.

EFFICIENT leukocytes detection and classification in microscopic blood images using convolutional neural network coupled with a dual attention network. **Computers in Biology and Medicine**, 2024.

HEMATOLOGY and Machine Learning. **Journal of Applied Laboratory Medicine**, v. 8, n. 1, p. 129-144, 2023.

INTEGRATING Artificial Intelligence for Enhanced Review and Disease Screening in Hematology Analyzers. **International Society for Laboratory Hematology (ISLH) Congress Abstracts**, 2025.

LAPIC, I.; MILOS, M.; DOROTIC, M.; DRENSKI, V.; COEN HERAK, D.; ROGIC, D. Analytical validation of white blood cell differential and platelet assessment on the Sysmex DI-60 digital morphology analyzer. **International Journal of Laboratory Hematology**, v. 45, n. 5, p. 668-677, 2023.

LEUKOCYTES Image Classification Using Optimized Convolutional Neural Networks. **Expert Systems with Applications**, v. 202, 2022.

PERFORMANCE assessment of Sysmex DI-60: is digital morphology analyzer reliable for white blood cell differentials in body fluids? **PMC**, 2024.

PERFORMANCE evaluation of the digital morphology analyser Sysmex DI-60 for white blood cell differentials in abnormal samples. **Scientific Reports**, v. 14, 2024.

PERFORMANCE of an artificial intelligence system against 15 morphology experts in leukocyte classification. **Nature Digital Medicine**, 2026.





PERFORMANCE of digital morphology analyzer Vision Pro on white blood cell differentials. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine**, v. 59, n. 6, p. 1099-1106, 2021.

SANTOS, M. D. X. S.; BERTEMES, W. L.; MESQUITA DE SOUZA, I.; ANDRADES, M. H. B.; PATTO, V. S. Machine Learning Algorithms for Peripheral Blood Cell Classification - A Hemovision Project Experience. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 30, n. 2, p. 89100, 2023.

WHITE blood cell differentials performance of a new automated digital cell morphology analyzer: Mindray MC-80. **International Journal of Laboratory Hematology**, 2023.

Recebido em: 13/06/2026

Aprovado em: 03/07/2026

Publicado em: 29/07/2026

