

Pesquisa Multidisciplinar EM SAÚDE

EDIÇÃO XXII

Capítulo 49

USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA INTERPRETAÇÃO DE EXAMES LABORATORIAIS EM ONCO-HEMATOLOGIA

LIVIA DONATO DE MOURA¹
DANIELLE FEITOSA DE SOUZA²
ANA ELISELMA FURTADO SILVA³
LÍDIA OLIVEIRA SENE⁴
JOSÉ GARCIA DE SOUSA⁵
GERSIANO BARROS AGUIAR JÚNIOR⁶
VIRNA MARIA BRANDÃO CORDEIRO DE
ALMEIDA⁷
ALLYNE KELLY CARVALHO FARIAS⁸

JÚLIA DA SILVA VERAS SOUSA⁹
ANA PAULA DOS SANTOS BENTO¹⁰
LUIS EUFRÁSIO FARIAS NETO¹¹
RENATA CAROLINE MOREIRA DA SILVA
AZEVEDO¹²
CARLOS ALBERTO INÁCIO BARROS FILHO¹³
GUILHERME SALUSTIANO DE FREITAS¹⁴
JOSENILDO PESSOA SENA¹

¹Biomédica, Especialista. Centro Universitário Católica de Quixadá (UNICATÓLICA).

²Bacharel em Enfermagem. Faculdade ViaSapiens (FVS).

³Enfermeira. Especialista em Enfermagem Cirúrgica, CME e SRPA pelo Centro Universitário Venda Nova do Imigrante.

⁴Fisioterapeuta. UNIFACID Wyden.

⁵Especialista em Farmácia Clínica e Cuidados Farmacêuticos pela Escola Superior da Amazônia (ESAMAZ).

⁶Farmacêutico. Faculdade Anhanguera.

⁷Acadêmica de Enfermagem. Centro Universitário INTA (UNINTA).

⁸Especialista em Hematologia Clínica e Banco de Sangue pela Faculdade Monte Pascoal.

⁹Pós-graduada em Terapia Intensiva Adulto, pediátrica e Neonatal pela Faculdade Inspirar.

¹⁰Mestra em Ciências da Reabilitação pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM).

¹¹Enfermeiro. Especialista em Centro Cirúrgico pelo Centro Universitário INTA (UNINTA).

¹²Graduanda em Farmácia. Centro Universitário INTA (UNINTA).

¹³Graduando em Bacharelado em Nutrição. Faculdade de Ensino e Cultura do Ceará (FAECE).

¹⁴Biomédico. Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista, São Paulo, Brasil.

¹⁵Mestre em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Onco-Hematologia; Medicina Laboratorial.

DOI

10.59290/1921043703

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

A transformação digital tem promovido profundas mudanças na organização dos sistemas de saúde, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias capazes de processar grandes volumes de dados clínicos e laboratoriais com elevada rapidez e precisão. Entre essas inovações, a inteligência artificial (IA) destaca-se como uma das tecnologias mais promissoras da atualidade por possibilitar que sistemas computacionais executem tarefas tradicionalmente associadas ao raciocínio humano, como reconhecimento de padrões, aprendizado contínuo, análise preditiva, processamento de linguagem natural e apoio à tomada de decisão. Nos últimos anos, sua incorporação tem ultrapassado o campo da ciência da computação para assumir papel estratégico em diferentes áreas da medicina, especialmente na medicina diagnóstica, onde a crescente complexidade das informações clínicas exige ferramentas capazes de auxiliar profissionais na interpretação de dados cada vez mais numerosos e heterogêneos (JIANG *et al.*, 2017; YU *et al.*, 2018).

A inteligência artificial compreende um conjunto de métodos computacionais desenvolvidos para simular capacidades cognitivas humanas mediante algoritmos capazes de aprender com experiências anteriores e aprimorar continuamente seu desempenho. Dentre suas principais vertentes destacam-se o aprendizado de máquina (*machine learning*), que utiliza modelos estatísticos para identificar padrões e realizar previsões a partir de grandes conjuntos de dados, e o aprendizado profundo (*deep learning*), baseado em redes neurais artificiais capazes de analisar informações altamente complexas, incluindo imagens digitais, dados moleculares e sinais biológicos. Associadas às técnicas de mineração de dados, ciência de dados e

processamento de linguagem natural, essas ferramentas vêm transformando significativamente a produção do conhecimento biomédico e ampliando as possibilidades diagnósticas em diversas especialidades médicas (JIANG *et al.*, 2017; ESTEVA *et al.*, 2019).

Nesse cenário, a medicina laboratorial ocupa posição estratégica por fornecer informações essenciais para o diagnóstico, acompanhamento terapêutico, monitoramento prognóstico e avaliação da resposta ao tratamento de inúmeras doenças. Estima-se que grande parte das decisões clínicas seja fundamentada em resultados laboratoriais, evidenciando a relevância desses exames para a prática assistencial. O crescimento da automação laboratorial, aliado ao aumento do número de biomarcadores disponíveis e ao desenvolvimento de exames moleculares de alta complexidade, ampliou significativamente a quantidade de informações produzidas diariamente pelos laboratórios clínicos. Embora essa expansão represente importante avanço para a medicina, também impõe desafios relacionados à interpretação integrada dos resultados, especialmente em doenças que apresentam elevada heterogeneidade biológica, como as neoplasias hematológicas (RAJKOMAR *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018).

A onco-hematologia constitui uma área altamente especializada dedicada ao estudo, diagnóstico e tratamento das neoplasias que acometem os tecidos hematopoéticos e o sistema linfático, incluindo leucemias agudas e crônicas, linfomas, mieloma múltiplo, síndromes mielodisplásicas e neoplasias mieloproliferativas. Essas enfermidades apresentam elevada complexidade clínica e laboratorial, frequentemente exigindo a integração de múltiplos exames para confirmação diagnóstica, classificação da doença, estratificação prognóstica e definição da estratégia terapêutica mais adequada. Além da

avaliação clínica, o diagnóstico depende da interpretação conjunta de hemogramas, mielogramas, exames histopatológicos, imunofenotipagem por citometria de fluxo, análises citogenéticas, testes de biologia molecular e sequenciamento genético, produzindo um volume crescente de informações cuja interpretação pode representar um desafio mesmo para profissionais experientes (HAUSSER; ZHANG, 2023).

O avanço das técnicas diagnósticas nas últimas décadas modificou profundamente a abordagem das doenças onco-hematológicas. A incorporação de métodos de biologia molecular, citogenética de alta resolução, sequenciamento de nova geração (*next generation sequencing* – NGS) e testes genômicos permitiu identificar alterações genéticas específicas associadas ao desenvolvimento, prognóstico e resposta terapêutica das neoplasias hematológicas. Entretanto, a complexidade dessas informações exige análises cada vez mais sofisticadas para correlacionar variantes genéticas, alterações citogenéticas, marcadores imunológicos e parâmetros laboratoriais com os diferentes perfis clínicos dos pacientes. Nesse contexto, a inteligência artificial surge como ferramenta capaz de integrar esses múltiplos conjuntos de dados, identificar padrões invisíveis à análise convencional e oferecer suporte à tomada de decisão baseada em evidências (HAUSSER; ZHANG, 2023).

A utilização da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia tem apresentado resultados promissores em diferentes etapas do cuidado ao paciente. Algoritmos de aprendizado de máquina vêm sendo empregados para identificar alterações sutis em hemogramas automatizados, reconhecer padrões morfológicos em esfregaços sanguíneos digitalizados, classificar células hematológicas, detectar anormalidades cromossô-

micas e interpretar dados provenientes de citometria de fluxo e sequenciamento genético. Essas aplicações contribuem para aumentar a precisão diagnóstica, reduzir a variabilidade entre observadores e acelerar a emissão dos laudos laboratoriais, favorecendo intervenções terapêuticas mais precoces e individualizadas (HAUSSER; ZHANG, 2023; ESTEVA *et al.*, 2019).

Outro aspecto relevante refere-se ao fortalecimento da medicina de precisão, paradigma assistencial que busca adaptar o tratamento às características biológicas específicas de cada paciente. Na onco-hematologia, essa abordagem depende da identificação de biomarcadores moleculares capazes de prever prognóstico, estimar risco de progressão da doença e orientar a seleção das terapias mais eficazes. A inteligência artificial potencializa esse processo ao analisar simultaneamente milhares de variáveis clínicas, laboratoriais e genômicas, permitindo a construção de modelos preditivos que auxiliam na estratificação de risco, na previsão da resposta terapêutica e no monitoramento da doença residual mínima. Dessa forma, os sistemas inteligentes deixam de atuar apenas como ferramentas de automação laboratorial e passam a desempenhar papel estratégico na personalização do cuidado e na melhoria dos desfechos clínicos (RAJKOMAR *et al.*, 2019; KOUROU *et al.*, 2015).

Apesar dos avanços observados, a incorporação da inteligência artificial à prática laboratorial ainda enfrenta desafios importantes. A confiabilidade dos algoritmos depende diretamente da qualidade, representatividade e padronização dos bancos de dados utilizados para seu treinamento. Informações incompletas, vieses amostrais e diferenças entre protocolos laboratoriais podem comprometer o desempenho dos modelos computacionais e limitar sua aplicabi-

lidade clínica. Além disso, questões relacionadas à transparência algorítmica, validação multicêntrica, interoperabilidade entre sistemas laboratoriais, segurança da informação, responsabilidade profissional e conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) representam aspectos fundamentais para garantir a utilização ética e segura dessas tecnologias (WHO, 2021a; WHO, 2023).

Outro desafio refere-se à integração da inteligência artificial ao fluxo de trabalho dos laboratórios clínicos e dos serviços de hematologia. Embora os sistemas inteligentes apresentem elevado potencial para automatizar análises complexas, seu papel deve ser compreendido como complementar à atuação dos profissionais de saúde, e não como substitutivo. A interpretação clínica dos resultados permanece dependente da experiência do hematologista, do patologista clínico e da equipe multiprofissional, que devem avaliar criticamente as recomendações fornecidas pelos algoritmos à luz das características individuais de cada paciente. Assim, o desenvolvimento de modelos colaborativos entre inteligência humana e inteligência computacional constitui uma das principais perspectivas para o futuro da medicina laboratorial (TOPOL, 2019; WHO, 2021b).

Diante desse cenário, observa-se que a inteligência artificial vem redefinindo os paradigmas da medicina diagnóstica ao ampliar a capacidade analítica dos laboratórios clínicos e favorecer decisões mais rápidas, precisas e fundamentadas em evidências científicas. Na onco-hematologia, sua aplicação representa importante avanço para o diagnóstico precoce, a classificação das neoplasias hematológicas, o monitoramento terapêutico e a implementação da medicina personalizada, contribuindo para maior eficiência dos serviços laboratoriais e melhor qualidade da assistência aos pacientes.

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo analisar as aplicações da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia, destacando suas contribuições para o diagnóstico, estratificação de risco, monitoramento terapêutico, medicina de precisão e apoio à decisão clínica, bem como discutir suas limitações, desafios éticos e perspectivas futuras para a prática laboratorial e assistencial (ESTEVA *et al.*, 2019; RAJKOMAR *et al.*, 2018).

METODOLOGIA

O presente capítulo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, método de pesquisa amplamente empregado para reunir, sintetizar e analisar criticamente evidências científicas produzidas sobre determinado fenômeno de interesse, possibilitando a integração de estudos com diferentes delineamentos metodológicos e a construção de um panorama abrangente do conhecimento disponível. Essa abordagem foi escolhida por permitir a análise sistemática das aplicações da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia, considerando suas contribuições para o diagnóstico, monitoramento terapêutico, medicina de precisão e apoio à decisão clínica, além de identificar avanços tecnológicos, limitações e perspectivas futuras para a prática laboratorial.

A condução metodológica fundamentou-se nas etapas propostas por Mendes *et al.* (2008), que compreendem a identificação do tema e da questão norteadora, definição dos critérios de inclusão e exclusão, estabelecimento das estratégias de busca, seleção das publicações, extração das informações, avaliação crítica dos estudos, síntese das evidências e apresentação dos resultados. Como estratégia complementar para

assegurar maior rigor metodológico e transparência na seleção das evidências, foram adotadas as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020), especialmente nas etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.

A elaboração da questão norteadora foi realizada por meio da estratégia PICO (*Population*,

Interest e Context), recomendada para pesquisas que investigam fenômenos relacionados aos serviços de saúde, inovação tecnológica e prática clínica. Essa estratégia permitiu delimitar os principais componentes da investigação e orientar a busca por evidências científicas sobre a utilização da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais em pacientes com neoplasias hematológicas. O **Quadro 46.1** fornece as estratégias do PICO.

Quadro 46.1 Estratégia PICO utilizada para elaboração da questão norteadora

Elemento	Descrição
P (<i>Population</i>)	Pacientes com neoplasias hematológicas, profissionais da medicina laboratorial, hematologistas, patologistas clínicos e serviços de diagnóstico laboratorial.
I (<i>Interest</i>)	Aplicações da Inteligência Artificial, aprendizado de máquina, aprendizado profundo, sistemas inteligentes, automação laboratorial e apoio à decisão clínica.
Co (<i>Context</i>)	Interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia, diagnóstico, monitoramento terapêutico, medicina de precisão e prática laboratorial.

A partir da estratégia PICO, estabeleceu-se a seguinte questão norteadora: Quais são as evidências científicas acerca das aplicações da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia e de que forma essas tecnologias contribuem para o diagnóstico, monitoramento terapêutico, medicina de precisão e apoio à decisão clínica?

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus, *Web of Science*, Embase, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). Como estratégia complementar, também foram consultados documentos técnicos e diretrizes publicadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), Ministério da Saúde, além de literatura indexada no *Google Scholar*, visando ampliar a identificação de estudos relevantes sobre inteligência artificial, medicina laboratorial e onco-hematologia.

Para a construção das estratégias de busca foram utilizados descritores controlados dos vocabulários *Medical Subject Headings* (MeSH) e Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), combinados mediante operadores booleanos AND e OR. Entre os principais descritores empregados destacaram-se: *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, *Deep Learning*, *Laboratory Medicine*, *Clinical Laboratory Techniques*, *Hematology*, *Hematologic Neoplasms*, *Oncology*, *Flow Cytometry*, *Genomics*, *Precision Medicine*, *Clinical Decision Support Systems* e seus correspondentes em língua portuguesa. As estratégias de busca foram adaptadas às especificidades de indexação de cada base de dados, garantindo maior sensibilidade e especificidade na recuperação das publicações.

Foram estabelecidos como critérios de inclusão artigos científicos publicados preferencialmente entre 2021 e 2026, disponíveis na íntegra, nos idiomas português, inglês ou espanhol, que abordassem diretamente o uso da Inteligência Artificial na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia, medicina

laboratorial, hematologia diagnóstica, citometria de fluxo, citogenética, biologia molecular, sequenciamento genético, medicina de precisão ou sistemas inteligentes de apoio à decisão clínica. Também foram incluídas revisões sistemáticas, revisões integrativas, estudos observacionais, pesquisas metodológicas, estudos multicêntricos, documentos institucionais e diretrizes técnicas relacionados ao tema.

Como critérios de exclusão foram considerados artigos duplicados, editoriais, cartas ao editor, resumos publicados exclusivamente em anais de eventos, dissertações, teses, estudos sem acesso ao texto completo, publicações que não apresentassem relação direta com a temática proposta e pesquisas voltadas exclusivamente ao desenvolvimento computacional de algoritmos, sem aplicação prática na medicina laboratorial ou na onco-hematologia.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em quatro etapas sucessivas: identificação das publicações nas bases de dados, triagem mediante leitura dos títulos e resumos, avaliação da elegibilidade por leitura integral dos textos e inclusão dos estudos considerados pertinentes aos objetivos desta revisão. Posteriormente, foi realizada a extração das principais informações referentes aos autores, ano de publicação, país de origem, delineamento metodológico, tipo de tecnologia de inteligência artificial empregada, exame laboratorial analisado, aplicação clínica, principais resultados, limitações e contribuições para a prática diagnóstica em onco-hematologia.

A análise das evidências foi conduzida de forma descritiva e interpretativa, permitindo agrupar os estudos por aproximação temática e identificar convergências, divergências, avanços científicos e lacunas existentes na literatura. Para facilitar a discussão dos resultados, os achados foram organizados em três categorias

temáticas: Inteligência artificial aplicada à medicina laboratorial em onco-hematologia; Inteligência artificial, medicina de precisão e apoio à decisão clínica; e Benefícios, limitações, aspectos éticos e perspectivas futuras da inteligência artificial na interpretação de exames laboratoriais.

Por se tratar de uma pesquisa baseada exclusivamente em dados secundários provenientes de publicações científicas e documentos públicos, este estudo dispensou apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa, conforme a legislação brasileira vigente. Entretanto, durante todas as etapas da investigação foram observados os princípios da integridade científica, transparência metodológica, rigor acadêmico e adequada citação das fontes consultadas, assegurando a confiabilidade e a fidedignidade das informações apresentadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inteligência artificial na medicina laboratorial aplicada à onco-hematologia

A incorporação da inteligência artificial à medicina laboratorial representa uma das mais importantes transformações tecnológicas observadas nos últimos anos, modificando significativamente a forma como exames diagnósticos são processados, interpretados e integrados à prática clínica. O avanço da capacidade computacional, associado ao desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) e aprendizado profundo (*deep learning*), possibilitou a análise automatizada de grandes volumes de informações laboratoriais, reduzindo limitações inerentes aos métodos convencionais e ampliando a precisão das interpretações diagnósticas. Na onco-hematologia, área caracterizada pela elevada complexidade biológica das neoplasias hematológicas, essas tecnologias têm assumido papel estratégico ao

auxiliar profissionais na identificação de padrões morfológicos, imunológicos e genéticos geralmente imperceptíveis à avaliação tradicional (ESTEVA *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018).

Os algoritmos de aprendizado de máquina são desenvolvidos para reconhecer relações entre diferentes variáveis clínicas e laboratoriais a partir da análise de grandes bases de dados previamente estruturadas. À medida que novos casos são incorporados ao sistema, esses modelos aprimoram continuamente sua capacidade preditiva, tornando-se progressivamente mais precisos na identificação de alterações compatíveis com doenças hematológicas. Paralelamente, técnicas de *deep learning*, fundamentadas em redes neurais artificiais multicamadas, possibilitam o processamento de imagens digitais de elevada complexidade, favorecendo a classificação automatizada de células sanguíneas, a identificação de alterações citomorfológicas e a interpretação de exames microscópicos com elevado grau de sensibilidade e especificidade (JIANG *et al.*, 2017; RAJKOMAR *et al.*, 2019).

Na prática laboratorial, uma das aplicações mais consolidadas da inteligência artificial refere-se à análise automatizada do hemograma. Embora os analisadores hematológicos modernos já realizem contagens celulares altamente precisas, a interpretação dos resultados ainda demanda avaliação criteriosa por profissionais especializados, principalmente quando são identificadas alterações sugestivas de neoplasias hematológicas. Sistemas inteligentes conseguem integrar parâmetros quantitativos e qualitativos do hemograma, reconhecendo combinações laboratoriais associadas a leucemias agudas, síndromes mielodisplásicas, linfomas e neoplasias mieloproliferativas, contribuindo para o direcionamento precoce de investigações complementares e reduzindo o risco de atraso diagnóstico (HAUSSER; ZHANG, 2023).

Além do hemograma, a inteligência artificial tem demonstrado elevado potencial na interpretação do mielograma e da morfologia celular obtida em esfregaços de sangue periférico e medula óssea. A digitalização das lâminas microscópicas, associada ao uso de algoritmos de reconhecimento de imagens, permite identificar automaticamente blastos, plasmócitos, linfócitos atípicos, células displásicas e outras alterações morfológicas relevantes para o diagnóstico das neoplasias hematológicas. Essa abordagem reduz a variabilidade interobservador, melhora a padronização das análises e oferece suporte adicional aos patologistas clínicos e hematologistas, especialmente em laboratórios com elevado volume de exames (HAUSSER; ZHANG, 2023; ESTEVA *et al.*, 2019).

Outra aplicação de destaque encontra-se na citometria de fluxo e na imunofenotipagem, consideradas ferramentas fundamentais para o diagnóstico, classificação e monitoramento de diversas doenças onco-hematológicas. Esses exames geram milhares de informações referentes à expressão de marcadores celulares, cuja interpretação pode tornar-se extremamente complexa diante da grande quantidade de populações celulares analisadas simultaneamente. Algoritmos inteligentes conseguem processar esses dados de maneira automatizada, identificando fenótipos celulares específicos, agrupando populações semelhantes e sugerindo padrões compatíveis com diferentes tipos de leucemias e linfomas, aumentando a rapidez das análises e reduzindo a possibilidade de interpretações inconsistentes (HAUSSER; ZHANG, 2023).

A aplicação da inteligência artificial também se estende às áreas de citogenética, biologia molecular e sequenciamento genético, componentes cada vez mais importantes da medicina diagnóstica em onco-hematologia. Técnicas de sequenciamento de nova geração (*next*

generation sequencing - NGS) produzem enorme quantidade de informações relacionadas a mutações genéticas, alterações cromossômicas e perfis moleculares dos pacientes. A interpretação manual desses dados é extremamente trabalhosa e pode demandar elevado tempo de processamento. Nesse contexto, sistemas baseados em IA possibilitam integrar simultaneamente informações genômicas, laboratoriais e clínicas, identificando alterações de relevância diagnóstica e prognóstica com maior rapidez e consistência (HAUSSER; ZHANG, 2023; YU *et al.*, 2018).

As evidências científicas recentes demonstram que essas aplicações não visam substituir a atuação dos profissionais da medicina laboratorial, mas potencializar sua capacidade analítica. A interpretação final permanece dependente da experiência clínica do hematologista e do patologista, que contextualizam os achados laboratoriais às características individuais do paciente. Dessa forma, a inteligência artificial consolida-se como uma ferramenta complementar, capaz de ampliar a eficiência diagnóstica, reduzir erros analíticos e fortalecer a medicina baseada em evidências, contribuindo para maior qualidade assistencial e melhores desfechos clínicos na onco-hematologia (TOPOL, 2019; WHO, 2021a).

Inteligência artificial, medicina de precisão e apoio à decisão clínica

A evolução da medicina de precisão modificou profundamente a abordagem diagnóstica e terapêutica das neoplasias hematológicas ao substituir modelos padronizados de tratamento por estratégias individualizadas baseadas nas características biológicas de cada paciente. Nesse contexto, a inteligência artificial tornou-se um dos principais instrumentos para integrar informações clínicas, laboratoriais, genéticas e

moleculares, permitindo compreender a complexidade das doenças onco-hematológicas de forma mais abrangente e fundamentar decisões clínicas mais assertivas. Diferentemente das abordagens convencionais, que frequentemente analisam variáveis isoladas, os sistemas inteligentes são capazes de correlacionar milhares de informações simultaneamente, produzindo modelos preditivos que contribuem para o diagnóstico, prognóstico e definição da melhor estratégia terapêutica (KOUROU *et al.*, 2015; HAUSSER; ZHANG, 2023).

Uma das aplicações mais relevantes da IA consiste na estratificação de risco dos pacientes. Algoritmos treinados com grandes bases de dados conseguem identificar padrões clínicos e laboratoriais associados à evolução das doenças, permitindo classificar indivíduos em diferentes categorias prognósticas e estimar probabilidades de progressão, recaída ou resposta ao tratamento. Esse tipo de análise apresenta especial importância em doenças como leucemia mieloide aguda, leucemia linfoblástica aguda e mieloma múltiplo, nas quais a identificação precoce de fatores prognósticos influencia diretamente a escolha do tratamento e a sobrevida dos pacientes (KOUROU *et al.*, 2015; HAUSSER; ZHANG, 2023).

Outro avanço significativo refere-se ao monitoramento da doença residual mínima (DRM), considerado atualmente um dos principais indicadores de resposta terapêutica em diversas neoplasias hematológicas. A combinação entre citometria de fluxo multiparamétrica, biologia molecular e algoritmos de inteligência artificial permite detectar pequenas populações de células neoplásicas remanescentes, frequentemente abaixo do limite de identificação pelos métodos convencionais. Essa capacidade amplia a sensibilidade diagnóstica, possibilita ajustes precoces na conduta terapêutica e favo-

rece maior individualização do acompanhamento clínico, consolidando a IA como ferramenta estratégica para a medicina de precisão (HAUSSER; ZHANG, 2023).

Além do apoio ao diagnóstico e ao monitoramento terapêutico, sistemas inteligentes vêm sendo incorporados aos modelos de apoio à decisão clínica, fornecendo aos hematologistas informações complementares baseadas na integração das melhores evidências científicas disponíveis. Essas plataformas analisam simultaneamente dados laboratoriais, características clínicas, alterações genômicas e protocolos terapêuticos atualizados, auxiliando na seleção de tratamentos mais adequados e contribuindo para uma assistência cada vez mais personalizada, segura e baseada em evidências. Dessa forma, a inteligência artificial fortalece o processo decisório sem substituir o julgamento clínico, atuando como instrumento de apoio à prática especializada (RAJKOMAR *et al.*, 2019; TOPOL, 2019).

Benefícios, limitações, aspectos éticos e perspectivas futuras

A crescente incorporação da inteligência artificial (IA) na medicina laboratorial tem proporcionado benefícios significativos para a onco-hematologia, sobretudo pela capacidade de processar grandes volumes de informações com rapidez, precisão e padronização. A integração entre algoritmos inteligentes, sistemas automatizados e exames laboratoriais complexos tem contribuído para reduzir a variabilidade interpretativa, aumentar a confiabilidade dos resultados e fornecer suporte qualificado aos profissionais envolvidos no diagnóstico e acompanhamento das neoplasias hematológicas. Em um cenário no qual as decisões terapêuticas dependem da análise simultânea de dados morfológicos, imunológicos, citogenéticos e moleculares, a utilização da IA representa um

importante avanço para a prática laboratorial contemporânea (ESTEVA *et al.*, 2019; HAUSSER; ZHANG, 2023).

Entre os principais benefícios destaca-se o aumento da acurácia diagnóstica. Algoritmos treinados com grandes bases de dados conseguem reconhecer padrões celulares e moleculares com elevada sensibilidade, identificando alterações que poderiam passar despercebidas em análises convencionais. Na interpretação de hemogramas, mielogramas, citometria de fluxo e exames genéticos, a IA reduz inconsistências decorrentes da subjetividade humana e favorece maior uniformidade entre diferentes laboratórios. Essa padronização torna-se particularmente relevante em doenças onco-hematológicas, nas quais pequenas diferenças na interpretação dos exames podem modificar significativamente a classificação diagnóstica, a estratificação prognóstica e a escolha da estratégia terapêutica (ESTEVA *et al.*, 2019; RAJKOMAR; DEAN; KOHANE, 2019).

Outro benefício amplamente relatado na literatura refere-se à redução do tempo necessário para emissão dos resultados laboratoriais. Sistemas inteligentes realizam análises automatizadas em poucos minutos, permitindo que exames de elevada complexidade sejam interpretados com maior agilidade. Essa rapidez favorece o início precoce do tratamento, aspecto especialmente importante em doenças agressivas, como as leucemias agudas, nas quais atrasos diagnósticos podem comprometer significativamente o prognóstico do paciente. Além disso, a automação dos processos laboratoriais contribui para otimizar o fluxo de trabalho, reduzir retrabalho, minimizar erros operacionais e aumentar a produtividade dos serviços de diagnóstico (ESTEVA *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2018).

A utilização da inteligência artificial também apresenta impacto positivo na gestão dos

laboratórios clínicos. A automatização de etapas analíticas permite melhor utilização dos recursos humanos, maior rastreabilidade das informações, integração entre diferentes plataformas diagnósticas e monitoramento contínuo da qualidade dos processos laboratoriais. Em instituições que realizam grande volume de exames onco-hematológicos, essas tecnologias favorecem maior eficiência operacional e melhor alocação de recursos, contribuindo para reduzir custos relacionados à repetição de exames, falhas analíticas e atrasos diagnósticos. Entretanto, embora exista potencial para racionalização dos custos em longo prazo, a implementação dessas soluções ainda exige investimentos expressivos em infraestrutura tecnológica, aquisição de equipamentos, integração de sistemas e capacitação das equipes (JIANG *et al.*, 2017; WHO, 2021b).

Apesar dos avanços observados, diversas limitações ainda restringem a ampla utilização da inteligência artificial na rotina da medicina laboratorial. A principal delas refere-se à qualidade dos bancos de dados utilizados para treinamento dos algoritmos. Modelos desenvolvidos a partir de informações incompletas, enviesadas ou provenientes de populações pouco representativas podem apresentar desempenho inferior quando aplicados em diferentes contextos clínicos, comprometendo sua capacidade diagnóstica e reduzindo a confiabilidade das recomendações produzidas. Além disso, diferenças entre protocolos laboratoriais, equipamentos utilizados, técnicas analíticas e características epidemiológicas das populações podem limitar a generalização dos modelos computacionais, reforçando a necessidade de validações multicêntricas antes da incorporação definitiva dessas ferramentas à prática clínica (WHO, 2021a; WHO, 2023).

Outro aspecto amplamente discutido envolve os desafios éticos relacionados ao uso da

inteligência artificial em saúde. Muitos algoritmos operam como modelos de difícil interpretação, frequentemente descritos como *black box*, nos quais o processo utilizado para gerar determinada recomendação não é totalmente compreendido pelos usuários. Essa limitação pode dificultar a transparência das decisões, reduzir a confiança dos profissionais e gerar questionamentos sobre responsabilidade clínica em situações de erro diagnóstico. Consequentemente, torna-se fundamental que os sistemas inteligentes sejam desenvolvidos com princípios de explicabilidade, auditabilidade e validação científica, permitindo que suas recomendações possam ser compreendidas, verificadas e criticamente avaliadas pelos especialistas responsáveis pelo atendimento ao paciente.

A proteção das informações em saúde representa outro desafio prioritário. A utilização de algoritmos de inteligência artificial depende do processamento de grandes quantidades de dados clínicos, laboratoriais e genéticos, muitos deles classificados como sensíveis pela legislação vigente. No Brasil, a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) estabelece diretrizes para coleta, armazenamento, compartilhamento e utilização dessas informações, exigindo que instituições de saúde adotem mecanismos robustos de segurança da informação, anonimização dos dados, controle de acesso e governança digital. O cumprimento dessas normas é essencial para preservar a privacidade dos pacientes, fortalecer a confiança da sociedade e garantir o uso ético das tecnologias de inteligência artificial (WHO, 2021a; WHO, 2023).

As perspectivas futuras para a aplicação da IA na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia são amplamente promissoras. Espera-se que a integração entre inteligência artificial, sequenciamento genômico, análise multiômica, patologia digital e sistemas de

apoio à decisão clínica amplie significativamente a capacidade diagnóstica dos laboratórios e fortaleça a medicina personalizada. O desenvolvimento de modelos cada vez mais precisos poderá contribuir para identificar biomarcadores inéditos, prever respostas terapêuticas, antecipar recaídas e apoiar decisões clínicas fundamentadas em grandes volumes de evidências científicas. Paralelamente, a expansão da computação em nuvem, da interoperabilidade entre sistemas laboratoriais e do uso de modelos de IA generativa tende a acelerar a incorporação dessas tecnologias aos serviços de saúde (HAUSSER; ZHANG, 2023; WHO, 2023).

Entretanto, a consolidação desse cenário dependerá não apenas do avanço tecnológico, mas também da construção de marcos regulatórios consistentes, da capacitação permanente dos profissionais de saúde e do fortalecimento da pesquisa científica voltada à validação clínica dessas ferramentas. A inteligência artificial deve ser compreendida como instrumento complementar ao conhecimento humano, potencializando a atuação do hematologista, do patologista clínico e das equipes multiprofissionais, sem substituir a análise crítica, a experiência profissional e o julgamento clínico. Dessa forma, sua utilização responsável poderá con-

tribuir para uma medicina laboratorial mais eficiente, segura, personalizada e alinhada aos princípios da qualidade assistencial, beneficiando diretamente pacientes com doenças onco-hematológicas e fortalecendo a inovação nos serviços de saúde (WHO, 2023; TOPOL, 2019).

CONCLUSÃO

A inteligência artificial tem se consolidado como uma ferramenta estratégica na interpretação de exames laboratoriais em onco-hematologia, contribuindo para diagnósticos mais precisos, estratificação de risco, monitoramento terapêutico e fortalecimento da medicina de precisão. A integração de algoritmos inteligentes à medicina laboratorial favorece maior eficiência, rapidez e segurança na tomada de decisão clínica.

Entretanto, sua implementação ainda depende da superação de desafios relacionados à validação clínica, qualidade dos bancos de dados, transparência dos algoritmos, segurança da informação e conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Assim, a utilização ética e baseada em evidências da inteligência artificial possui elevado potencial para aprimorar a assistência onco-hematológica e impulsionar a inovação na medicina diagnóstica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Diário Oficial da União: Brasília, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 01/08/2026.
- ESTEVA, A. *et al.* A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, v. 25, p. 24, 2019. doi: 10.1038/s41591-018-0316-z.
- HAUSSER, J. & ZHANG, B. Artificial intelligence and machine learning in hematologic malignancies: current applications and future directions. *Blood Reviews*, v. 60, 2023. doi: 10.2196/36490.
- JIANG, F. *et al.* Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, v. 2, p. 230, 2017. doi: 10.1136/svn-2017-000101.
- KOUROU, K. *et al.* Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, v. 13, p. 8, 2015. doi: 10.1016/j.csbj.2014.11.005.
- MENDES, K.S. *et al.* Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto Enfermagem*, v. 17, p. 758, 2008. doi: 10.1590/S0104-07072008000400018.
- PAGE, M.J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, 2021. doi: 10.1136/bmj.n71.
- RAJKOMAR, A. *et al.* Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, v. 380, p. 1347, 2019. doi: 10.1056/NEJMr1814259.
- TOPOL, E.J. *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. New York: Basic Books, 2019.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. *Ethics and governance of artificial intelligence for health*. Geneva: WHO, 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Global strategy on digital health 2020–2025*. Geneva: WHO, 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Artificial intelligence for health: regulatory considerations*. Geneva: WHO, 2023.
- YU, K.H. *et al.* Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, v. 2, p. 719, 2018.