

USO DE NANOTECNOLOGIA ASSOCIADA À INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE TERAPIAS PERSONALIZADAS CONTRA O CÂNCER: REVISÃO DA LITERATURA

USE OF NANOTECHNOLOGY ASSOCIATED WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN
THE DEVELOPMENT OF PERSONALIZED THERAPIES AGAINST CANCER:
LITERATURE REVIEW

USO DE LA NANOTECNOLOGÍA ASOCIADA A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN
EL DESARROLLO DE TERAPIAS PERSONALIZADAS CONTRA EL CÁNCER:
REVISIÓN DE LA LITERATURA

DATA DE SUBMISSÃO: 30/12/2025 | DATA DE ACEITE: 13/01/2026 | DATA DE PUBLICAÇÃO: 28/01/2026

ELISABETE SOARES DE SANTANA¹
HARRISON OLIVEIRA SANTIAGO²
IVANI RAMOS DO CARMO³
MARIA NOÊMIA SOUZA DE ALCÂNTARA⁴
MARINA CORRÊA FREITAS⁵
GABRIEL MARCHON DE FRANÇA⁶
MARYANE FRANCISCA ARAÚJO DE FREITAS CAVALCANTE⁷
JHENIFFER DA SILVA SOUSA⁸
SÉRGIO BRUNO DOS SANTOS SILVA⁹
JOÃO FERNANDES FLORIANO¹⁰

¹Mestranda em Ciência de Materiais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, PE, Brasil.

²Médico, Lato Sensu em Psiquiatria - Universidade Uni América & CETRUS; Lato Sensu em Neurociências do Comportamento Humano - Universidade Unimed. Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Ilhéus, BA, Brasil.

³Doutoranda em Ensino de Ciências pela Universidade Cruzeiro do Sul (Unicsul). São Paulo, Brasil.

⁴Nutricionista, Especialista em Atendimento ao Paciente Oncológico, Formada pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Lageado, RS, Brasil.

⁵Investigadora Biomédica, ICBS – International Center for Biomedical & Space Sciences, LIASTRA Institute. Formada pela Universidade de Aveiro (UA) – Portugal. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁶Graduando em Farmácia pela Faculdade Santíssima Trindade (FAST). Nazaré da Mata, PE, Brasil.

⁷Enfermeira, Mestranda em Propriedade Intelectual pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI). Teresina, PI, Brasil.

⁸Nutricionista pelo Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão (UniFacema). Mestranda em Alimentos e Nutrição (UFPI). Caxias, MA, Brasil.

⁹Médico, Pós Graduado em Medicina do Trabalho. Formado pela Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

¹⁰Farmacêutico pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Doutorando e Pós-Doutorando em Ciências da Saúde, Centro Internacional de Pesquisa Integralize. Florianópolis, SC, Brasil



RESUMO

Objetivo: Analisar de forma sistemática a produção científica recente acerca do uso da nanotecnologia associada à inteligência artificial no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer, destacando avanços tecnológicos, aplicações terapêuticas, benefícios clínicos e desafios para a consolidação da medicina de precisão oncológica. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão de literatura conduzida entre novembro e dezembro de 2025, seguindo as recomendações metodológicas de Galvão, Pansani e Harrad e as diretrizes do Instituto Joanna Briggs. A estratégia PICO foi empregada para a formulação da questão de pesquisa. As buscas foram realizadas nas bases PubMed, Medline, Web of Science e Cochrane Library, utilizando descritores controlados combinados por operadores booleanos. Foram incluídos artigos publicados entre 2021 e 2025, disponíveis na íntegra, nos idiomas português, inglês ou espanhol. A seleção dos estudos seguiu o fluxograma PRISMA, resultando na inclusão final de 16 artigos. **Resultados e Discussões:** Os estudos analisados evidenciaram crescimento expressivo das pesquisas que integram nanotecnologia e inteligência artificial na oncologia. Observou-se predominância do uso de nanopartículas lipídicas, polímeros biodegradáveis e sistemas híbridos, associados a algoritmos de aprendizado de máquina para otimização do design, liberação controlada de fármacos e estratificação de pacientes. A inteligência artificial mostrou-se fundamental na análise de dados multi-ômicos, na previsão de respostas terapêuticas e no monitoramento em tempo real, contribuindo para maior eficácia e redução de toxicidade. Contudo, persistem desafios relacionados à validação clínica, custos, regulamentação e questões éticas. **Conclusão:** Conclui-se que a associação entre nanotecnologia e inteligência artificial representa uma estratégia promissora para o avanço das terapias personalizadas contra o câncer. Apesar das limitações identificadas, os achados reforçam o potencial dessas tecnologias para transformar a prática oncológica, indicando a necessidade de investimentos contínuos em pesquisa translacional e estudos clínicos robustos. **Palavras-Chave:** Inteligência Artificial; Medicina de Precisão; Nanotecnologia; Oncologia; Terapias Personalizadas.

ABSTRACT

Objective: To systematically analyze recent scientific literature on the use of nanotechnology associated with artificial intelligence in the development of personalized therapies against cancer, highlighting technological advances, therapeutic applications, clinical benefits, and challenges for consolidating precision oncology. **Methodology:** This literature review was conducted between November and December 2025, following the methodological recommendations of Galvão, Pansani, and Harrad and the guidelines of the Joanna Briggs Institute. The PICO strategy was applied to formulate the research question. Searches were performed in the PubMed, Medline, Web of Science, and Cochrane Library databases using controlled descriptors combined with Boolean operators. Articles published between 2021 and 2025, available in full text in Portuguese, English, or Spanish, were included. Study selection followed the PRISMA flowchart, resulting in the final inclusion of 16 articles. **Results and Discussion:** The analyzed studies demonstrated a significant increase in research integrating nanotechnology and artificial intelligence in oncology. There was a predominance of lipid nanoparticles, biodegradable polymers, and hybrid systems associated with machine learning algorithms for optimizing design, controlled drug delivery, and patient stratification. Artificial intelligence proved essential for multi-omics data analysis, therapeutic response prediction, and real-time monitoring, contributing to increased efficacy and reduced toxicity. However, challenges related to clinical validation, costs, regulation, and ethical issues persist. **Conclusion:** The association between nanotechnology and artificial intelligence represents a promising strategy for advancing personalized cancer therapies. Despite the identified limitations, the findings reinforce the potential of these technologies to transform oncological practice, highlighting the need for continued investment in translational research and robust clinical studies.

Keywords: Artificial intelligence; Nanotechnology; Oncology; Personalized therapies; Precision medicine.

RESUMEN

Objetivo: Analizar de forma sistemática la producción científica reciente sobre el uso de la nanotecnología asociada a la inteligencia artificial en el desarrollo de terapias personalizadas contra el cáncer, destacando los avances tecnológicos, las aplicaciones terapéuticas, los beneficios clínicos y los desafíos para la consolidación de la oncología de precisión. **Metodología:** Se realizó una revisión de la literatura entre noviembre y diciembre de 2025, siguiendo las recomendaciones metodológicas de Galvão, Pansani y Harrad y las directrices del Instituto Joanna Briggs. Se utilizó la estrategia PICO para la formulación de la pregunta de investigación. Las búsquedas se llevaron a cabo en las bases de datos PubMed, Medline, Web of Science y Cochrane Library, utilizando descriptores controlados combinados con operadores booleanos. Se incluyeron artículos publicados entre 2021 y 2025, disponibles en texto completo en portugués, inglés o español. La selección de los estudios siguió el diagrama de flujo PRISMA, resultando en la inclusión final de 16 artículos. **Resultados y Discusión:** Los estudios analizados evidenciaron un crecimiento significativo de las investigaciones que integran nanotecnología e inteligencia artificial en oncología. Se observó el predominio de nanopartículas lipídicas, polímeros biodegradables y sistemas híbridos, asociados a algoritmos de aprendizaje automático para la optimización del diseño, la liberación controlada de fármacos y la estratificación de pacientes. La inteligencia artificial fue fundamental en el análisis de datos multiómicos, la predicción de respuestas terapéuticas y el monitoreo en tiempo real, contribuyendo a una mayor eficacia y a la reducción de la toxicidad. No obstante, persisten desafíos relacionados con la validación clínica, los costos, la regulación y las cuestiones éticas. **Conclusión:** Se concluye que la asociación entre nanotecnología e inteligencia artificial constituye una estrategia prometedora para el avance de las terapias personalizadas contra el cáncer. A pesar de las limitaciones identificadas, los hallazgos refuerzan el potencial de estas tecnologías para transformar la práctica oncológica, destacando la necesidad de inversiones continuas en investigación traslacional y estudios clínicos robustos.

Palabras Clave: Inteligencia artificial; Medicina de precisión; Nanotecnología; Oncología; Terapias personalizadas.

1. INTRODUÇÃO

O câncer representa uma das maiores causas de morbimortalidade no mundo, caracterizando-se por sua heterogeneidade biológica e complexidade terapêutica, o que desafia abordagens convencionais de tratamento (BHange; Telange, 2025). Nas últimas décadas, a nanomedicina emergiu como um campo promissor, capaz de desenvolver sistemas de liberação de fármacos que aumentam a especificidade de ação e reduzem efeitos adversos sistêmicos. Entretanto, a simples utilização de nanotecnologia não tem sido suficiente para responder às demandas de individualização terapêutica. Nesse sentido, a integração da inteligência artificial (IA) aos sistemas nanotecnológicos tem se destacado como um vetor transformador no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer.

A nanotecnologia permite manipular materiais na escala molecular e atômica para otimizar propriedades físico-químicas de fármacos e veículos de transporte, promovendo maior penetração tumoral e controle liberativo (Bhatia *et al.*, 2022). Contudo, apesar dos avanços em nanoestruturas e nanocarreadores, os desafios persistem relacionados à variabilidade tumoral e respostas individuais heterogêneas a terapias padronizadas. Essa lacuna evidencia a necessidade de abordagens que considerem características genéticas, moleculares e fenotípicas de pacientes individuais. A IA, por meio de modelos de aprendizado de máquina, pode analisar grandes volumes de dados biológicos e clínicos, favorecendo decisões terapêuticas mais precisas (Sheikh; Jirvankar, 2024).

A aplicação de IA no design de nanomedicamentos tem demonstrado potencial para aprimorar a seleção de partículas, prever interações com alvo biológico e otimizar estratégias de liberação de fármacos (Shirzad *et al.*, 2025). Técnicas como deep learning permitem reconhecer padrões complexos em dados genômicos e de imagem, o que contribui para a seleção de terapias mais eficazes para subgrupos específicos de pacientes. Essa convergência tecnológica favorece a transição da medicina tradicional baseada em populações para uma oncologia de precisão centrada no indivíduo. Assim, a integração de IA e nanotecnologia promete superar barreiras inerentes às terapias convencionais.

Além disso, abordagens computacionais avançadas têm sido utilizadas para modelar a entrega de nanopartículas em múltiplas escalas, desde o transporte vascular até a distribuição tecidual, aprimorando a eficácia terapêutica (Soltani *et al.*, 2021). A modelagem multi-escala auxiliada por IA permite simular cenários de resposta terapêutica e ajustar parâmetros de nanocarreadores conforme características fisiológicas específicas do paciente. Esses métodos *in silico* reduzem custos e tempo de desenvolvimento, além de permitir a personalização

preditiva de regimes terapêuticos antes da aplicação clínica. Tal abordagem oferece um arcabouço robusto para alinhar nanotecnologia com padrões individuais de tumorigênese.

A personalização terapêutica no câncer não se limita à entrega de fármacos, estendendo-se também à identificação de biomarcadores prognósticos e preditivos que orientam escolhas terapêuticas (Wang *et al.*, 2024). A IA é capaz de integrar dados multiômicos, incluindo genômica, transcriptômica e proteômica para mapear assinaturas moleculares associadas à sensibilidade a tratamentos específicos. Essa capacidade propicia não apenas terapias mais eficazes, mas também a minimização de toxicidade em pacientes que apresentam baixa probabilidade de resposta. Assim, a IA promove uma medicina verdadeiramente personalizada, alicerçada em evidências biológicas profundas.

Outro aspecto relevante refere-se à rapidez e precisão diagnóstica alcançadas por meio da IA em combinação com técnicas nanotecnológicas, como sensores inteligentes e plataformas de detecção em tempo real (Yee Kuen; Masarudin, 2022). Sensores baseados em nanomateriais integrados a algoritmos inteligentes permitem detectar e monitorar células tumorais em estágios precoces, oferecendo informações valiosas que orientam intervenções terapêuticas oportunas. Tal integração tecnológica potencializa a detecção precoce e a adaptação dinâmica de regimes de tratamento personalizado, incrementando as chances de sucesso clínico.

Entretanto, apesar das perspectivas promissoras, a convergência de nanotecnologia e IA enfrenta desafios éticos, regulatórios e técnicos, como a necessidade de bases de dados robustas, interoperabilidade de sistemas e transparência nos algoritmos (BHange; Telange, Darshan., 2025). Questões relativas à privacidade de dados dos pacientes, vieses algorítmicos e equidade no acesso às tecnologias emergentes demandam atenção crítica no desenvolvimento dessas terapias. A literatura destaca a importância de diretrizes éticas e mecanismos de governança que garantam a segurança, eficácia e equidade dessas inovações na prática clínica.

Em síntese, o uso de nanotecnologia associada à inteligência artificial representa uma fronteira inovadora no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer, articulando avanços em biomateriais, ciência de dados e medicina de precisão. Estudos recentes revelam que a integração dessas áreas pode otimizar desde a concepção de nanocarreadores até a definição de regimes terapêuticos individualizados, promovendo tratamentos mais eficientes e menos tóxicos (Butner *et al.*, 2022).

O presente trabalho tem como objetivo analisar, de forma sistemática e crítica, a produção científica recente sobre o uso da nanotecnologia associada à inteligência artificial no

desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer, destacando os avanços tecnológicos, as aplicações no contexto oncológico e as contribuições dessas abordagens para o aumento da eficácia terapêutica, a redução de efeitos adversos e o fortalecimento da medicina de precisão.

2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo do tipo revisão de literatura, realizado no período de Novembro de 2025 a Dezembro de 2025, com o objetivo de identificar, analisar e sintetizar as evidências científicas disponíveis acerca da aplicação da nanotecnologia associada à inteligência artificial no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer. O estudo buscou compreender os principais avanços tecnológicos, desafios clínicos e contribuições dessas abordagens para a medicina de precisão oncológica, conforme metodologias recomendadas por Galvão, Pansani e Harrad (2015) e pelas diretrizes do Instituto Joanna Briggs (JBI, 2022).

A condução da revisão seguiu cinco etapas metodológicas bem definidas: (1) formulação da questão de pesquisa, com delimitação clara do objetivo do estudo; (2) identificação dos estudos relevantes por meio de buscas sistemáticas em bases de dados científicas; (3) seleção dos estudos, mediante aplicação rigorosa de critérios de inclusão e exclusão; (4) extração dos dados, contemplando informações sobre tipos de nanotecnologias, aplicações da inteligência artificial, contextos terapêuticos e principais resultados; e (5) síntese e análise crítica das evidências, visando identificar tendências, lacunas e perspectivas futuras no campo da oncologia personalizada (Galvão; Pansani; Harrad, 2015; JBI, 2022).

Para a definição do objeto de estudo, foi utilizada a estratégia **PICo**, conforme proposta por Santos, Pimenta e Nobre (2007). O componente **P (População)** correspondeu a pacientes oncológicos adultos; **I (Interesse)** referiu-se ao uso de nanotecnologia associada à inteligência artificial no desenvolvimento e na otimização de terapias personalizadas; e **Co (Contexto)** envolveu o cenário da medicina de precisão e das limitações das terapias oncológicas convencionais. A partir dessa estrutura, a seguinte questão de pesquisa foi elaborada: “Como a associação entre nanotecnologia e inteligência artificial tem contribuído para o desenvolvimento de terapias personalizadas no tratamento do câncer?”

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed, Medline, Web of Science e Cochrane Library, consideradas relevantes para a área da saúde e das ciências biomédicas. Adicionalmente, o Google Acadêmico foi consultado com a finalidade de identificar estudos complementares de relevância científica. A definição dos descritores

ocorreu por meio da consulta ao DeCS/MeSH, disponibilizado pela Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), de acordo com os objetivos e a questão norteadora do estudo.

Os termos utilizados nas estratégias de busca, combinados por operadores booleanos AND e OR, incluíram: (“*Nanotechnology*”) AND (“*Artificial Intelligence*”) AND (“*Cancer*”) AND (“*Personalized Therapy*” OR “*Precision Medicine*”). As buscas foram realizadas no idioma inglês, considerando a maior concentração de publicações científicas relevantes na área, e ajustadas conforme as especificidades de cada base de dados.

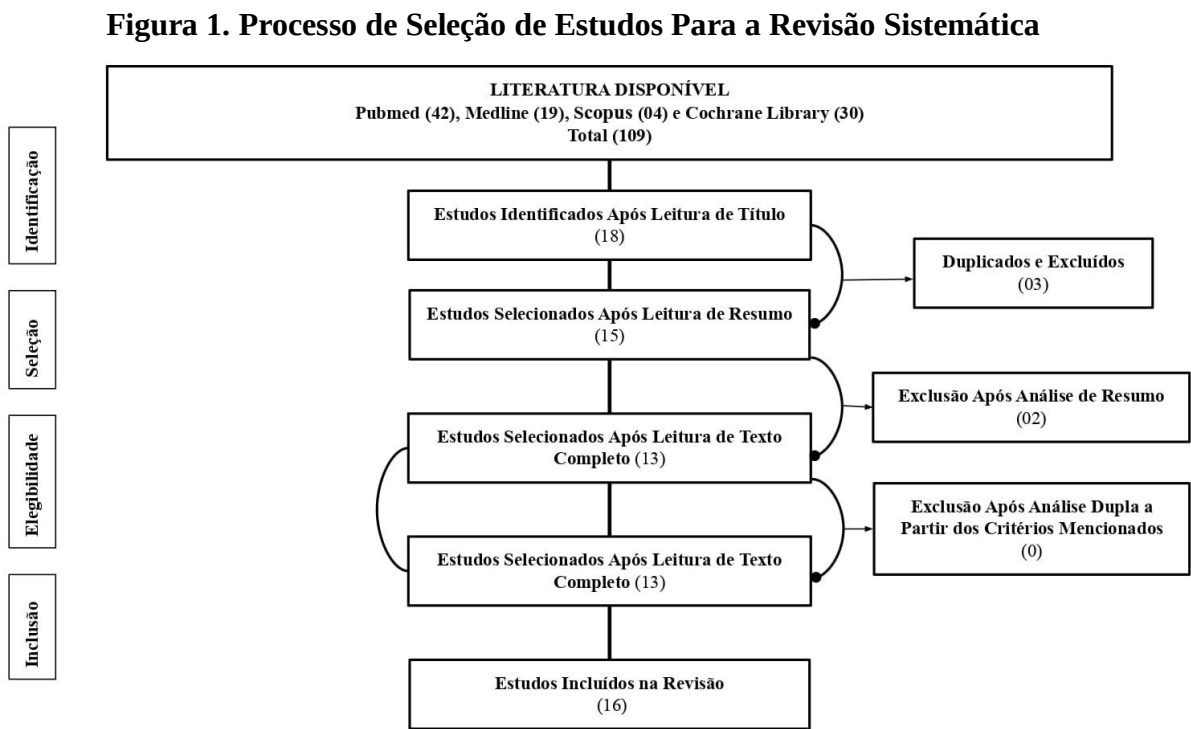
Na etapa de seleção dos estudos, adotou-se e adaptou-se o modelo de fluxograma proposto por Galvão, Pansani e Harrad (2015), contemplando quatro subetapas: (1) identificação dos estudos nas bases de dados; (2) triagem por meio da leitura de títulos e resumos; (3) avaliação da elegibilidade com aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; e (4) inclusão final dos estudos selecionados, realizada de forma criteriosa pelo autor, com base na relevância científica e metodológica.

Os critérios de inclusão compreenderam artigos científicos publicados entre 2021 e 2025, disponíveis na íntegra, nos idiomas português, inglês ou espanhol, que abordassem diretamente a aplicação da nanotecnologia associada à inteligência artificial no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer. Foram excluídos estudos duplicados, trabalhos que não apresentassem relação direta com o tema, pesquisas exclusivamente pré-clínicas sem interface com aplicações terapêuticas, bem como revisões narrativas sem descrição metodológica sistemática.

3. RESULTADOS

O PRISMA foi utilizado para apresentar o fluxo de seleção dos estudos incluídos nesta revisão sistemática sobre o uso da nanotecnologia associada à inteligência artificial no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer. Inicialmente, foram identificados 109 estudos nas bases de dados MedLine (19), PubMed (42), Scopus (4) e *Cochrane Library* (30). Após a leitura dos títulos, 18 estudos foram selecionados, sendo excluídos 3 artigos duplicados. Na etapa de análise dos resumos, 15 estudos foram mantidos, com a exclusão de 2 por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Posteriormente, na leitura do texto completo, 13 estudos foram selecionados pelo primeiro revisor e validados pelo segundo. Após busca complementar e atualização da triagem, mais 3 estudos foram incluídos por atenderem plenamente aos critérios metodológicos e temáticos, totalizando 16 estudos na revisão final. O

processo de seleção está representado na Figura 1, que apresenta o Fluxograma PRISMA adaptado com o detalhamento das etapas realizadas.



Fonte: Autores, 2025.

A análise temporal das publicações evidenciou um crescimento significativo dos estudos que associam nanotecnologia e inteligência artificial no tratamento oncológico, especialmente a partir de 2021. Esse aumento reflete o avanço das tecnologias digitais aplicadas à saúde e a consolidação da medicina de precisão como estratégia central na oncologia contemporânea. Os estudos analisados indicam que a convergência dessas áreas tem permitido maior compreensão da heterogeneidade tumoral e melhor direcionamento terapêutico. Tal cenário reforça o papel da inovação tecnológica na transformação dos modelos tradicionais de cuidado em câncer (BHange; Telange, 2025).

No que se refere às nanotecnologias empregadas, observou-se predominância do uso de nanopartículas lipídicas, polímeros biodegradáveis, nanopartículas metálicas e sistemas híbridos multifuncionais. Esses nanocarreadores foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a estabilidade dos fármacos, aumentar a biodisponibilidade e favorecer o acúmulo seletivo no tecido tumoral. A literatura aponta que tais sistemas contribuem para a redução de efeitos colaterais sistêmicos, um dos principais desafios das terapias antineoplásicas convencionais (Bhatia *et al.*, 2022).

A inteligência artificial foi amplamente aplicada no planejamento e na otimização dessas nanoestruturas, especialmente por meio de algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais profundas. Essas ferramentas computacionais possibilitaram prever interações entre nanopartículas e células tumorais, além de ajustar propriedades físico-químicas dos nanocarreadores. Os estudos indicam que o uso da IA reduz o tempo de desenvolvimento experimental e aumenta a eficiência das formulações terapêuticas, tornando o processo mais preciso e reproduzível (Butner *et al.*, 2022).

Outro aspecto relevante identificado nos estudos foi a aplicação da inteligência artificial na estratificação de pacientes oncológicos. A integração de dados genômicos, proteômicos, clínicos e de imagem permitiu identificar perfis tumorais específicos e prever respostas individuais às terapias. Essa abordagem favorece a seleção de tratamentos personalizados, reduzindo a exposição dos pacientes a terapias ineficazes. Assim, a IA contribui diretamente para a consolidação da oncologia de precisão baseada em dados (Chou *et al.*, 2025).

Em relação aos tipos de câncer abordados, observou-se maior concentração de estudos em câncer de mama, pulmão, colorretal e glioblastoma. Esses tumores apresentam elevada complexidade biológica e heterogeneidade molecular, o que justifica o uso de estratégias terapêuticas personalizadas. Os resultados demonstraram melhora significativa na resposta terapêutica e no controle da progressão tumoral quando comparadas às abordagens convencionais, evidenciando o potencial clínico dessas tecnologias (Das *et al.*, 2023).

A literatura analisada também destacou o uso da inteligência artificial no monitoramento terapêutico em tempo real. Sistemas inteligentes foram utilizados para analisar imagens médicas, dados laboratoriais e biomarcadores circulantes, permitindo ajustes dinâmicos nos regimes terapêuticos. Essa capacidade de adaptação contínua contribui para a detecção precoce de falhas terapêuticas e para a otimização do tratamento ao longo do tempo (Devarajan, 2025).

Apesar dos avanços observados, os estudos apontaram desafios importantes para a implementação clínica dessas abordagens. Entre os principais obstáculos estão a complexidade regulatória, os elevados custos de desenvolvimento e a necessidade de validação clínica em larga escala. Além disso, a padronização dos algoritmos e a reprodutibilidade dos resultados ainda representam limitações que precisam ser superadas para a ampla adoção dessas tecnologias (Govindan *et al.*, 2023).

Questões éticas e legais também foram amplamente discutidas nos estudos incluídos. O uso de inteligência artificial envolve a manipulação de grandes volumes de dados sensíveis,

como informações genéticas e clínicas, exigindo rigorosos protocolos de segurança e privacidade. Os autores ressaltam a importância da transparência algorítmica e da mitigação de vieses, a fim de garantir decisões clínicas seguras e equitativas (Hayat *et al.*, 2021).

Outro ponto enfatizado refere-se à necessidade de atuação multidisciplinar no desenvolvimento dessas terapias. A integração entre profissionais da saúde, engenheiros, cientistas de dados e pesquisadores em nanotecnologia foi apontada como essencial para o sucesso das aplicações clínicas. Essa colaboração favorece soluções mais robustas e alinhadas às necessidades reais dos pacientes oncológicos (Heydari *et al.*, 2024).

Os estudos também indicaram que a personalização terapêutica contribui para maior adesão dos pacientes ao tratamento. Regimes terapêuticos ajustados ao perfil individual tendem a apresentar menor toxicidade e melhor tolerabilidade, fatores que influenciam positivamente a continuidade do cuidado. Dessa forma, a nanotecnologia associada à IA impacta não apenas a eficácia clínica, mas também a qualidade de vida dos pacientes (Jia *et al.*, 2021).

No âmbito da pesquisa translacional, observou-se avanço significativo na utilização da inteligência artificial para acelerar a transição do laboratório para a prática clínica. A IA tem sido empregada na seleção de candidatos a ensaios clínicos e na predição de desfechos terapêuticos, reduzindo falhas em fases iniciais. Esses avanços contribuem para maior eficiência no desenvolvimento de novas terapias oncológicas (Samathoti *et al.*, 2025).

Entretanto, a literatura destaca que a maioria dos estudos ainda se encontra em fases pré-clínicas ou iniciais de ensaios clínicos. Isso limita a generalização dos resultados e reforça a necessidade de estudos longitudinais e multicêntricos. A validação em populações diversas é fundamental para assegurar a segurança e a eficácia dessas terapias em diferentes contextos clínicos (Mazumdar *et al.*, 2021).

Embora, os resultados desta revisão evidenciam que a associação entre nanotecnologia e inteligência artificial representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer. Apesar dos desafios técnicos, éticos e regulatórios, os avanços observados entre 2021 e 2025 indicam um cenário favorável para a incorporação dessas tecnologias na oncologia moderna, reforçando a importância do investimento contínuo em pesquisa, inovação e políticas públicas de saúde.

4. CONCLUSÃO

A presente revisão de literatura evidenciou que a associação entre nanotecnologia e inteligência artificial constitui uma abordagem inovadora e promissora no desenvolvimento de terapias personalizadas contra o câncer. A integração dessas tecnologias tem possibilitado avanços significativos na compreensão da heterogeneidade tumoral, no direcionamento mais preciso dos tratamentos e na otimização da eficácia terapêutica, ao mesmo tempo em que contribui para a redução de efeitos adversos comumente associados às terapias oncológicas convencionais.

Os achados demonstram que o uso de nanocarreadores inteligentes aliados a algoritmos de inteligência artificial favorece o desenho racional de terapias, a estratificação de pacientes e o monitoramento contínuo da resposta ao tratamento. Essa convergência tecnológica reforça a transição da oncologia tradicional para a medicina de precisão, centrada nas características biológicas individuais e no uso estratégico de dados clínicos e moleculares para a tomada de decisão terapêutica.

Apesar dos avanços observados, a revisão também aponta desafios relevantes para a consolidação dessas abordagens na prática clínica, incluindo questões regulatórias, éticas, econômicas e metodológicas. A necessidade de validação clínica em larga escala, a padronização dos sistemas baseados em inteligência artificial e a garantia da segurança e privacidade dos dados dos pacientes permanecem como aspectos essenciais a serem superados para a ampla implementação dessas tecnologias.

Dessa forma, conclui-se que a nanotecnologia associada à inteligência artificial representa um campo em expansão, com elevado potencial de impacto na oncologia moderna. O fortalecimento de pesquisas translacionais, o investimento em estudos clínicos robustos e a articulação entre ciência, tecnologia e políticas públicas são fundamentais para viabilizar a incorporação dessas inovações, contribuindo para tratamentos mais eficazes, seguros e personalizados no enfrentamento do câncer.

REFERÊNCIAS

BHANGE, M.; TELANGE, D. Convergência da nanotecnologia e da inteligência artificial na luta contra o câncer de fígado: uma revisão abrangente. **Discover Oncology**, v. 16, n. 1, p. 77, 2025.

BHATIA, S. N. *et al.* Nanomedicina do câncer. **Nature Reviews Cancer**, v. 22, n. 10, p. 550-556, 2022.

BUTNER, J. D. *et al.* Modelagem matemática da imunoterapia contra o câncer para tradução clínica personalizada. **Nature computational science**, v. 2, n. 12, p. 785-796, 2022.

CHOU, W. *et al.* Aprendizado de máquina e inteligência artificial em nanomedicina. **Revisões interdisciplinares de Wiley: Nanomedicina e nanobiotecnologia**, v. 17, n. 4, p. e70027, 2025.

DAS, K. P. Nanoparticles and convergence of artificial intelligence for targeted drug delivery for cancer therapy: Current progress and challenges. **Frontiers in Medical Technology**, v. 4, p. 1067144, 2023.

DEVARAJAN, A. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina em Terapias Baseadas em Nano-Câncer de Mama. **Nanomedicina de Próxima Geração para Câncer de Mama: Do Laboratório ao Cuidado do Paciente e Além**, p. 220, 2025.

GALVÃO, T. F; PANSANI, T.S. A; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 24, p. 335-342, 2015.

GOVINDAN, B. *et al.* A review of advanced multifunctional magnetic nanostructures for cancer diagnosis and therapy integrated into an artificial intelligence approach. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 3, p. 868, 2023.

HAYAT, H. *et al.* Uma análise concisa: a sinergia entre inteligência artificial e nanomateriais biomédicos que fortalece a nanomedicina. **Materiais Biomédicos**, v. 16, n. 5, p. 052001, 2021.

HEYDARI, S. *et al.* Inteligência artificial em nanotecnologia para tratamento de doenças. **Journal of Drug Targeting**, v. 32, n. 10, p. 1247-1266, 2024.

JB I - JOANNA BRIGGS INSTITUTE. **Evidence Implementation Training Program**. 2022.

JIA, Y. *et al.* O aprendizado de máquina impulsiona o design e a descoberta de nanomateriais. **ACS Química e Engenharia Sustentável**, v. 9, n. 18, p. 6130-6147, 2021.

MAZUMDAR, H. *et al.* Inteligência artificial para nanomedicina personalizada; Desde a seleção de materiais até os resultados dos pacientes. **Opinião Especializada sobre Administração de Medicamentos**, v. 22, n. 1, p. 85-108, 2025.

SAMATHOTI, P. *et al.* O papel da nanomedicina e da inteligência artificial na saúde oncológica: aplicações individuais e integrações emergentes — uma revisão narrativa. **Discover Oncology**, v. 16, n. 1, p. 697, 2025.

SANTOS, C. M. C; PIMENTA, C. A. M; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 15, p. 508-511, 2007.

SHEIKH, M.; JIRVANKAR, P. S. Aproveitando a inteligência artificial para aprimorar o design de nanopartículas em oncologia de precisão. **AIMS Bioengenharia**, v. 11, n. 4, p. 574-597, 2024.

SHIRZAD, M. *et al.* Artificial Intelligence-Assisted Design of Nanomedicines for Breast Cancer Diagnosis and Therapy: Advances, Challenges, and Future Directions. **BioNanoScience**, v. 15, n. 3, p. 354, 2025.

SOLTANI, M. *et al.* Aprimorar a tradução clínica do câncer usando nanoinformática. **Cânceres**, v. 13, n. 10, p. 2481, 2021.

WANG, J. *et al.* Aplicação da inteligência artificial no diagnóstico de câncer e nanomedicina tumoral. **Nanoscale**, v. 16, n. 30, p. 14213-14246, 2024.

YEE KUEN, C.; MASARUDIN, M. J. Chitosan nanoparticle-based system: A new insight into the promising controlled release system for lung cancer treatment. **Molecules**, v. 27, n. 2, p. 473, 2022.