



CONFERÊNCIA

Terapias Avançadas e Medicina de Precisão

A APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE CÂNCER

Modalidade: Resumo Expandido

**Silvia Vitoria Menti; Naiara
Stanfanello e Faculdade
Donaduzzi**

1. INTRODUÇÃO

O câncer, caracterizado pelo crescimento anormal de células, é considerado um dos maiores problemas de saúde pública em todo o mundo, seu tratamento é extremamente complexo devido a fatores de heterogeneidade tumoral e condições ambientais, podendo causar falência de órgãos e até a morte (INCA, 2023; Wang, 2020). Atualmente, com o avanço da tecnologia, têm-se encontrado novas alternativas para o tratamento da doença, sendo uma delas a aplicação de nanofármacos (Torchilin, 2014; Ferrari, 2005). No entanto, a literatura ainda apresenta lacunas quanto à sistematização das diferentes aplicações desses nanofármacos e dos desafios para sua transição à prática clínica. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar as aplicações de nanofármacos no tratamento oncológico e os possíveis desafios existentes para sua aplicação e acesso aos pacientes.

palavras-chave: Câncer, Nanotechnology, Quimioterapia, Tratamento oncológico, nanomedicina

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O câncer, caracterizado como uma neoplasia maligna e de etiologia multifatorial, configura-se atualmente como uma das principais causas de morte prematura entre indivíduos com menos de 70 anos em âmbito global (BRASIL, 2023). Diante da complexidade e heterogeneidade tumoral, terapias convencionais como quimioterapia e radioterapia, apresentam limitações significativas, incluindo baixa seletividade, toxicidade sistêmica a longo prazo e desenvolvimento de resistência farmacológica (Wang, 2020; Chaturvedi et.al, 2019). Nesse contexto, a nanotecnologia aplicada à farmacologia surge visando superar tais obstáculos por meio da engenharia de sistemas de liberação controlada em escala nanométrica.

A nanotecnologia é caracterizada por nanoestruturas que possuem 1 até 100 nanômetros, podendo ser considerados até de 1000 nm, pode possuir diversas formas como lipossomas, anticorpos, dendrímeros e nanopartículas. Conforme a ilustração feita por Vieira e seus colaboradores (2016, Figura 1), os nanocarreadores podem tratar o tumor por dois mecanismos: por meio do efeito de permeabilidade aumentada (EPR), onde através do direcionamento passivo sistêmico do corpo, o fármaco é levado ao devido local, obtendo melhor resultado para o tratamento do tumor; e o ativo que consiste na funcionalização da superfície dos nanocarreadores com moléculas (como anticorpos, aptâmeros e peptídeos) que assim são reconhecidas especificamente pelos receptores das células tumorais, reduzindo o risco de efeitos adversos comparado aos fármacos convencionais.

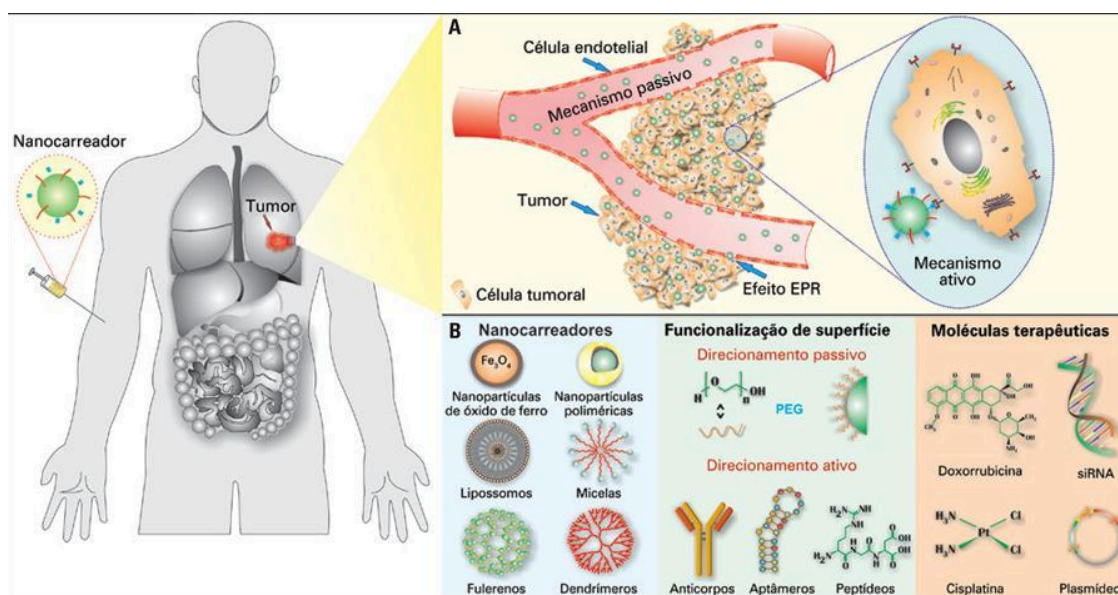


Figura 1: Conforme a figura ilustrada por (A) Mecanismos passivo (efeito EPR) e ativo de acúmulo de nanocarreadores no tumor; (B) Exemplos de nanocarreadores, ligantes de superfície e agentes terapêuticos utilizados no diagnóstico e terapia do câncer. Fonte: Vieira e Gamarra (2016, p. 100).

Um exemplo de fármaco aprovado para uso terapêutico é o Abraxane (paclitaxel ligado à albumina). Sendo um agente antineoplásico, metabolizado principalmente pela CYP2C8 e CYP3A4 no fígado e distribuído pela corrente sanguínea, o mecanismo de ação do paclitaxel é a promoção a montagem de microtúbulos pelos dímeros de tubulina nas células afetadas, estabilizando os microtúbulos e evitando a despolimerização, logo, evitando a proliferação descontrolada de células malignas, utilizado para o tratamento de câncer de mama, pulmão e pâncreas metastáticos (NIH, 2025; Bristol-Myers Squibb, 2021).

De acordo com Ferrari (2005), a nanotecnologia oncológica não representa um conceito inteiramente novo, uma vez que lipossomas já eram empregados tanto como agentes terapêuticos quanto como meios de contraste para diagnóstico por meio da ressonância magnética. Entretanto, os avanços recentes ampliaram consideravelmente o espectro de aplicações, permitindo o desenvolvimento de nanofármacos com propriedades multifuncionais e sensíveis a estímulos. Conforme Torchilin (2014), essas nanopartículas inteligentes podem responder a condições específicas do microambiente tumoral, como pH ácido, temperatura elevada ou presença de enzimas específicas, otimizando a liberação do fármaco no sítio alvo e reduzindo efeitos adversos.

No estudo feito por Paraskar e seus colaboradores (2010), foi realizada uma comparação do Nanoplatina® com a cisplatina livre em quesito de efeitos adversos e toxicidade. Foram feitas análises in vitro através de células tumorais envolvidas no câncer de pulmão e mama e em camundongos com os mesmos tumores para avaliar os níveis de nefrotoxicidade. Os resultados demonstraram que embora a eficácia anti-tumoral entre ambos os medicamentos fossem a mesma, a Nanoplatina® apresentou níveis significativamente menores de nefrotoxicidade comparado a cisplatina livre, devido a Nanoplatina ser projetada para responder seletivamente ao pH do ambiente sistêmico, enquanto o sangue tem um pH de aproximadamente 7,4, as células tumorais apresentam pH mais ácido, variando de 6,5 e 6,8 devido ao Efeito Warburg. Após ser liberada no tumor local, a estrutura polimérica se desestabiliza e libera a cisplatina, assim atua de forma convencional, ligando-se ao DNA das células tumorais e induzindo apoptose. Contudo, ainda será necessário mais estudos quanto a evidência clínica em humanos deve ser realizada antes de ser aprovada para uso clínico humano.

No âmbito das estratégias terapêuticas inovadoras, Wang e colaboradores (2020), destacam o potencial da nanomedicina para viabilizar a terapia gasosa do câncer, utilizando nanoportadores que liberam gases terapêuticos – como óxido nítrico, monóxido de carbono ou sulfeto de hidrogênio para o tratamento da patologia de forma controlada. Essa abordagem representa uma fronteira emergente, demonstrando sinergismo com outras modalidades terapêuticas. Ademais, Chaturvedi et al. (2019) reforçam que a nanotecnologia oncológica promove uma verdadeira revolução não apenas no tratamento, mas também no diagnóstico precoce, permitindo a detecção de biomarcadores tumorais em estágios iniciais por meio de biossensores e agentes de contraste nanoparticulados. Um exemplo é o uso de nanopartículas de ouro em biossensores eletroquímicos para a detecção do biomarcador HER2, associado ao câncer de mama, permitindo identificar concentrações extremamente baixas dessa proteína e diferenciando amostras de pacientes com câncer de amostras saudáveis (Rostamabi et.al, 2019).

Apesar do avanço científico expressivo, a aplicação clínica dos nanofármacos ainda enfrenta desafios consideráveis. Um dos possíveis desafios relatados por Ferrari (2005) são questões relacionadas à biocompatibilidade, estabilidade coloidal, escalabilidade produtiva e reprodutibilidade de lote a lote. Torchilin (2014) complementa ao apontar a complexidade da interação das nanopartículas com o sistema reticuloendotelial, o que pode acelerar sua eliminação antes mesmo de atingir o tumor. Ademais, aspectos regulatórios e a necessidade de estudos de toxicidade crônica em modelos mais realistas ainda constituem barreiras significativas para a tradução clínica plena dessas tecnologias.

Outro desafio a ser considerado são os fatores socioeconômicos para acesso a devida tecnologia aos pacientes, visto que, embora no Brasil os índices de acesso aos brasileiros ao tratamento de terapias convencionais tem aumentado em 0,8% comparação aos anos de 2015 a 2023 (Sousa et.al, 2025), ainda são necessárias políticas públicas para obter acesso a terapias avançadas de forma equitativa e precisa, visto que grande parte do acesso a esse tipo de terapia estão disponíveis em países com alto índice de desenvolvimento humano como Estados Unidos e China (Vargas et.al, 2025; INCA,2023).

3. METODOLOGIA

O trabalho adota a metodologia de uma revisão bibliográfica narrativa qualitativa, com busca em bases de dados como Google Scholar, PubMed, Scielo e ResearchGate, de acesso livre, utilizando artigos publicados entre 2005 e 2023. Como critério de seleção, foram selecionados artigos de revisão e documentos oficiais estatísticos em inglês e português para a produção do resumo, priorizando o embasamento teórico e prático.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da literatura selecionada, foi possível identificar que os nanofármacos aplicados ao tratamento oncológico apresentam resultados promissores em diferentes frentes, mas também revelam desafios consistentes que limitam sua plena incorporação na prática clínica. Os achados foram organizados em três eixos principais: eficácia terapêutica e direcionamento tumoral, toxicidade reduzida em comparação à quimioterapia convencional e obstáculos relacionados à produção e regulação.

No que se diz sobre a eficácia, Ferrari (2005) já demonstrava que a nanotecnologia oncológica permite o direcionamento passivo de fármacos por meio do efeito de permeabilidade e retenção aumentada (EPR), característico da vasculatura tumoral fenestrada. Esse achado foi corroborado e ampliado por Torchilin (2014), ao evidenciar que sistemas nanoparticulados multifuncionais e sensíveis a estímulos como pH ácido e enzimas super expressas no microambiente tumoral aumentam significativamente a acumulação do agente terapêutico no sítio neoplásico. Tais

resultados indicam que, diferentemente da quimioterapia clássica, os nanofármacos podem potencializar o efeito antitumoral enquanto minimizam a exposição de tecidos saudáveis.

Adicionalmente, Wang, Yang e He (2020) trouxeram à discussão uma evidência recente e inovadora: a possibilidade da terapia gasosa mediada por nanopartículas. Os autores demonstraram, em modelos pré-clínicos, que a liberação controlada de gases como óxido nítrico e monóxido de carbono induz apoptose seletiva em células malignas, sugerindo que os nanofármacos não apenas carregam agentes citotóxicos clássicos, mas também viabilizam modalidades terapêuticas inteiramente novas. Esse achado alinha-se à visão de Chaturvedi et al. (2019), para quem a nanotecnologia representa uma revolução tanto diagnóstica quanto terapêutica, com potencial para integrar detecção precoce e tratamento personalizado em um mesmo sistema.

Entretanto, a discussão não pode ignorar os desafios igualmente evidenciados pelos autores. Ferrari (2005) apontou que a escalabilidade e a reprodutibilidade dos nanofármacos ainda são obstáculos técnicos significativos, uma vez que pequenas variações no processo de síntese alteram tamanho, carga superficial e polidispersividade, impactando diretamente na segurança e eficácia. Torchilin (2014) complementa ao discutir a rápida opsonização e captura por macrófagos do sistema fagocitário mononuclear, o que reduz drasticamente a meia-vida circulatória dos nanofármacos, um problema que ainda não foi totalmente solucionado mesmo com revestimentos como polietilenoglicol (PEG).

Embora haja abundância de estudos pré-clínicos positivos, a tradução para ensaios clínicos em humanos tem sido mais lenta do que o esperado, Chaturvedi et al. (2019) atribuem essa lacuna à complexidade dos modelos animais, que nem sempre reproduzem fielmente a fisiologia tumoral humana, e à ausência de protocolos padronizados para avaliação de toxicidade crônica e efeitos off-target dos nanofármacos.

Além dos desafios físico-químicos e regulamentares apresentados na literatura, os achados desta revisão levantam uma questão igualmente crítica: a desigualdade geoeconômica no acesso aos nanofármacos. Embora Sousa et al. (2025) documentem melhora no acesso a terapias convencionais no Brasil, nenhum dos estudos analisados demonstrou disponibilidade equitativa de nanofármacos oncológicos em países de baixa e média renda. Pelo contrário, Vargas et al. (2025) e o INCA (2023) mostram clara concentração dessas tecnologias em nações de alto IDH. Esse cenário indica que, sem políticas públicas ativas, a transição dos nanofármacos para a prática clínica poderá entrar no dilema do que é tecnicamente possível e o que é socialmente acessível.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos para este resumo da literatura a nanotecnologia, representa um avanço no tratamento oncológico, já comprovados em estudos pré-clínicos e em nanomedicinas aprovadas, como o Abraxane®, que evidenciam maior acúmulo tumoral e redução da toxicidade sistêmica em comparação às terapias convencionais.

No entanto, a transição dessas tecnologias para a prática clínica ainda enfrenta desafios consistentes. Embora os resultados em modelos *in vivo* sejam promissores, é necessário ampliar a realização de ensaios clínicos em humanos para avaliar adequadamente as diferenças fisiológicas, metabólicas e os possíveis efeitos adversos de longo prazo, aspectos que modelos animais não reproduzem fielmente.

Ademais, fatores socioeconômicos constituem uma barreira igualmente crítica. O alto custo de produção e a concentração da disponibilidade dos nanofármacos em países de alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), como Estados Unidos e China, indicam que, sem políticas públicas específicas e regulação sanitária adequada, o acesso a essas terapias avançadas permanecerá restrito e desigual.

Conclui-se, portanto, que os nanofármacos no tratamento oncológico têm potencial para transformar a terapêutica do câncer, mas esse potencial só será

plenamente realizado mediante esforços multidisciplinares que integrem o avanço científico, a realização de ensaios clínicos robustos e o desenvolvimento de mecanismos que garantam acesso equitativo à tecnologia.

6. REFERÊNCIAS

- Brasil. Instituto Nacional de Câncer. Estimativa de 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA, 2023.
- BRISTOL-MYERS SQUIBB. Abraxane®: pó liofilizado para suspensão injetável 100 mg. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.bms.com/assets/bms/brazil/documents/Bul-a-Abraxane-HCP.pdf#page=2.24>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- Chaturvedi, Vivek K., et al. "Cancer nanotechnology: a new revolution for cancer diagnosis and therapy." *Current drug metabolism* 20.6 (2019): 416-429.
- Ferrari, Mauro. Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. *Nature Reviews Cancer*, v. 5, n. 3, p. 161-171, 2005.
- Nanoparticle albumin-bound paclitaxel (Abraxane®). In: *Phytochemical-based nanomedicines for cancer therapy*. U.S. National Library of Medicine, ClinicalTrials.gov. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7683832/>
- PARASKAR, A. S. et al. Harnessing structure-activity relationship to engineer a cisplatin nanoparticle for enhanced antitumor efficacy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 28, p. 12435-12440, 2010.
- ROSTAMABADI, P. F.; HEYDARI-BAFROOEI, E. Impedimetric aptasensing of the breast cancer biomarker HER2 using a glassy carbon electrode modified with gold nanoparticles. *Microchimica Acta*, v. 186, n. 8, p. 495, 2019. DOI: 10.1007/s00604-019-3619-y.
- Sousa, Eduardo Lima de, et al. "Disparidades geográficas e tendência temporal no fluxo de acesso ao tratamento de câncer: análise espacial, Brasil, 2015-2022." *Epidemiologia e Serviços de Saúde* 35 (2025): e20240725.
- Torchilin, Vladimir P. Multifunctional, stimuli-sensitive nanoparticulate systems for drug delivery. *Nature Reviews Drug Discovery*, v. 13, n. 11, p. 813-827, 2014.
- Vargas, Marco Antonio, et al. "Terapias Avançadas no Brasil: Redes de Conhecimento, Desafios para o SUS e Oportunidades para o Complexo Econômico-Industrial da Saúde."
- VIEIRA, Débora Braga; GAMARRA, Lionel Fernel. Avanços na utilização de nanocarreadores no tratamento e no diagnóstico de câncer. *Einstein (São Paulo)*, v. 14, n. 1, p. 99-103, 2016.
- Wang, Yingshuai, Tian Yang, and Qianjun He. "Strategies for engineering advanced nanomedicines for gas therapy of cancer." *National Science Review* 7.9 (2020): 1485-1512.