**NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS EM HIPERTERMIA PARA TRATAMENTO DO CÂNCER**

Elisabete Soares de Santana¹

Maiane Silva Barbosa de Moraes2

Thallys Mendes da Silva3

Stefane Maria Lima Damasceno4

Celio Luiz Gonçalves da Silva5

Adriana Santos Araújo6

Dário César de Oliveira Conceição7

**RESUMO:**

**Introdução:** As nanopartículas magnéticas (NPM) têm se destacado como uma estratégia inovadora no tratamento do câncer, especialmente por meio da hipertermia, que utiliza calor localizado para induzir a morte de células tumorais. Esse método é eficaz na destruição seletiva das células cancerosas, minimizando os danos aos tecidos saudáveis. As NPM oferecem a vantagem de serem direcionadas para os tumores, além de permitirem modificações em sua superfície para aumentar a eficácia do tratamento. Estudos sugerem que a combinação de NPM com outras terapias, como quimioterapia e radioterapia, pode resultar em melhores resultados terapêuticos. **Objetivos:** Investigar o potencial das NPM na hipertermia como uma estratégia terapêutica contra o câncer. Serão analisadas as propriedades das NPM, sua capacidade de induzir aquecimento, a eficácia na destruição de células tumorais e a sinergia com outras modalidades de tratamento. **Metodologia:** Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, utilizando termos específicos relacionados a nanopartículas e hipertermia em bases de dados como SciELO, Medline e Lilacs. A pesquisa incluiu artigos publicados entre 2020 e 2024, aplicando critérios de inclusão e exclusão que resultaram na seleção de 12 artigos relevantes para análise detalhada. **Resultados e Discussões:** Os estudos analisados demonstram que as NPM, especialmente as de óxido de ferro (Fe₃O₄), são eficazes na indução de calor localizado em células tumorais, apresentando boa biocompatibilidade e potencial para aumentar a eficácia dos tratamentos convencionais. A eficiência do aquecimento depende do tamanho das nanopartículas e do tempo de exposição ao campo magnético. Além disso, a combinação de NPM com terapias tradicionais mostrou sinergia, melhorando a resposta do tratamento. Desafios relacionados à toxicidade e à biodistribuição das NPM em organismos vivos ainda precisam ser abordados. **Considerações Finais:** A pesquisa sobre NPM em hipertermia apresenta perspectivas promissoras para o tratamento do câncer, com a possibilidade de tratamentos mais direcionados e menos invasivos. Contudo, é necessário avançar na padronização de métodos, avaliação de biocompatibilidade e segurança a longo prazo das nanopartículas. A colaboração entre a academia e a indústria será essencial para a implementação clínica bem-sucedida dessa tecnologia, visando um futuro mais eficaz no combate ao câncer.

**Palavras-Chave:** Nanopartículas de Óxido de Ferro, Terapia de Hipertermia, Tratamento Oncológico.

**Área Temática:** Ciências da Saúde.

**E-mail do autor principal:** elisabetesoares0987@gmail.com.

¹Farmácia, Faculdade Santíssima Trindade - FAST, Nazaré da Mata - Pernambuco, elisabetesoares0987@gmail.com.

²Farmacêutica, Mestranda em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Pernambuco, maiane.bmoraes@ufpe.br.

3Farmacêutico, Mestranda em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Pernambuco, thallys.mendes@ufpe.br.

4Enfermagem, Faculdade ViaSapiens - FVS , Tianguá - Ceará , stefannedamasceno@gmail.com.

65Enfermagem, Faculdade dos Guararapes - FG, Jaboatao dos Gurarapes - Pernambuco, celio.gonccalvess@gmail.com.

6Enfermeira, Pós - Graduada em Enfermagem do Trabalho e Gestão em Segurança do Trabalhador. Pelo Centro Universitário da Amazônia - UNIESAMAZ, Belém, Pará, adrianaaraujo4130@gmail.com.

7Químico, Doutor em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, dario.cesar@ufpe.br.

**1. INTRODUÇÃO**

As nanopartículas magnéticas (NPM) têm emergido como uma promissora abordagem terapêutica no tratamento do câncer, especialmente por meio da hipertermia, que consiste na aplicação de calor localizado para induzir a morte celular nas células tumorais. Este método utiliza o aquecimento controlado das nanopartículas, que são submetidas a um campo magnético alternado, resultando em um aumento da temperatura local e, consequentemente, a destruição das células cancerosas. As NPM são atraentes devido à sua capacidade de serem direcionadas especificamente para os tumores, minimizando os danos aos tecidos saudáveis circundantes (Alves *et al*., 2021).

Além disso, as NPM apresentam uma versatilidade na modificação de superfície, permitindo a conjugação com agentes terapêuticos ou marcadores fluorescentes (Vinícius Araújo *et al*., 2024). Essa funcionalização pode aumentar a eficácia do tratamento, uma vez que não só facilita a entrega do agente terapêutico diretamente ao tumor, mas também possibilita o monitoramento em tempo real do tratamento. Estudos recentes têm demonstrado que a combinação de nanopartículas magnéticas com quimioterapia e radioterapia pode resultar em uma sinergia terapêutica, aumentando a taxa de mortalidade das células cancerosas e reduzindo a resistência ao tratamento (Da Paz *et al*., 2024).

A hipertermia induzida por NPM pode ser otimizada através do controle preciso de variáveis como a frequência e a intensidade do campo magnético, o que tem sido objeto de intensa pesquisa. Pesquisadores têm explorado diferentes composições e tamanhos de nanopartículas, como ferritas e óxidos de ferro, para maximizar a eficiência do aquecimento. A escolha do tipo de nanopartícula, bem como a sua geometria, pode influenciar significativamente a temperatura alcançada e a distribuição do calor nas células tumorais, o que é crucial para o sucesso do tratamento (De Oliveira *et al*., 2020).

Um aspecto importante da aplicação das NPM na hipertermia é a biocompatibilidade e a toxicidade. Ensaios pré-clínicos têm mostrado que as NPM de ferro, por exemplo, são geralmente bem toleradas em organismos vivos, apresentando efeitos colaterais mínimos. Essa característica é fundamental para garantir que o tratamento não cause danos aos tecidos normais, um dos principais desafios na terapia oncológica convencional (De Vasconcelos *et al*., 2024).

Por fim, a integração das NPM em protocolos clínicos requer uma compreensão profunda das dinâmicas entre o aquecimento induzido e a resposta celular. Estudos estão em andamento para determinar as melhores condições de aplicação da hipertermia e como combinar eficazmente essa técnica com outras modalidades terapêuticas. Com os avanços na pesquisa e desenvolvimento de NPM, espera-se que a hipertermia se torne uma opção viável e eficaz no arsenal de tratamentos contra o câncer, oferecendo novas esperanças para pacientes e médicos na luta contra essa doença devastadora (Fontes *et al*., 2024).

O objetivo deste estudo é investigar o potencial das nanopartículas magnéticas (NPM) na hipertermia como estratégia terapêutica para o câncer. Serão analisadas as propriedades físicas e químicas das NPM, sua capacidade de induzir aquecimento sob campos magnéticos alternados e a eficácia desse processo na destruição de células tumorais. Além disso, busca-se avaliar a sinergia entre a hipertermia com NPM e outras modalidades de tratamento, como quimioterapia e radioterapia, para otimizar a eficiência terapêutica. A pesquisa também irá examinar a biocompatibilidade e toxicidade das NPM em organismos vivos, garantindo que seu uso clínico não resulte em efeitos adversos significativos. O intuito é contribuir para o avanço das terapias oncológicas, oferecendo insights sobre a aplicação das NPM na melhoria das estratégias de combate ao câncer.

**2. METODOLOGIA**

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura utilizando os termos "Descritor em Ciências da Saúde (DeCS)": "Nanopartículas de Óxido de Ferro"; "Terapia de Hipertermia"; "Tratamento Oncológico". As bases de dados consultadas foram *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Medline e Lilacs. Utilizou-se o operador booleano "*AND*" para combinar os descritores e refinar a busca, a fim de localizar estudos que tratam do uso de nanopartículas de óxido de ferro (Fe₃O₄) na hipertermia magnética aplicada ao tratamento de câncer.

A seleção dos artigos seguiu critérios de inclusão e exclusão pré-definidos, priorizando pesquisas que investigam o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de liberação controlada de fármacos baseados em nanopartículas para tratamentos oncológicos. Foram incluídos estudos que abordaram diretamente a temática proposta, com artigos completos publicados entre 2020 e 2024. Como critérios de exclusão, foram descartados artigos pagos, repetidos e aqueles sem relação explícita com a temática central.

No total, a busca inicial resultou em 88 artigos relevantes. Após a leitura criteriosa e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 12 artigos foram selecionados para análise detalhada. Esses estudos forneceram uma visão abrangente sobre os avanços recentes no uso de nanopartículas de óxido de ferro em terapias de câncer por hipertermia magnética, contribuindo com dados significativos para o entendimento dos mecanismos de ação, eficiência, limitações e potencialidades dessa tecnologia emergente.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A utilização de nanopartículas magnéticas (NPMs) em hipertermia tem se mostrado uma alternativa promissora para o tratamento do câncer, particularmente em tumores sólidos, devido à sua capacidade de gerar calor localizado ao serem expostas a campos magnéticos alternados. Essa técnica visa aquecer as células tumorais a temperaturas entre 41°C e 45°C, o que induz a morte celular por apoptose ou necrose, enquanto minimiza os danos aos tecidos saudáveis circundantes. Estudos recentes indicam que as NPMs, principalmente as de óxido de ferro (Fe₃O₄), têm uma boa biocompatibilidade, além de propriedades magnéticas ideais para gerar calor eficaz durante a terapia (Landim *et al*., 2022).

Os resultados mais recentes sobre o uso de NPMs em hipertermia destacam a importância do controle do tamanho das nanopartículas, que afeta diretamente sua eficiência na geração de calor. Nanopartículas com diâmetros menores que 100 nm têm sido apontadas como as mais eficientes para essa finalidade, uma vez que podem penetrar melhor no microambiente tumoral e oferecer uma distribuição homogênea do calor. Além disso, a superfície das NPMs pode ser funcionalizada com ligantes específicos para aumentar a seletividade ao tecido canceroso, promovendo uma ação direcionada e reduzindo os efeitos colaterais sistêmicos (Mamani *et al*., 2020).

Outro aspecto crucial discutido nas pesquisas é o tempo de exposição ao campo magnético. Estudos mostram que o controle preciso do tempo de aplicação é fundamental para otimizar a eficácia da terapia, sem provocar efeitos adversos significativos nos tecidos saudáveis. O uso de nanopartículas revestidas com materiais biocompatíveis, como o ácido poliacrílico, mostrou não só aumentar a estabilidade das NPMs no ambiente biológico, mas também melhorar a distribuição do calor nas células tumorais, o que é essencial para a eficácia terapêutica (Rocha *et al*., 2021).

Além disso, investigações mais recentes exploram a combinação de hipertermia com outros tratamentos convencionais, como quimioterapia e radioterapia. Essa abordagem tem mostrado resultados promissores, principalmente no aumento da sensibilização das células tumorais a esses tratamentos. A aplicação concomitante de NPMs em hipertermia e agentes quimioterápicos encapsulados tem demonstrado sinergismo, aumentando a taxa de destruição celular em tumores refratários a tratamentos tradicionais (Rodrigues *et al*., 2021).

Os desafios relacionados à segurança e toxicidade das nanopartículas também são pontos de destaque nas pesquisas atuais. Embora as NPMs de óxido de ferro apresentem baixo risco de toxicidade aguda, estudos indicam a necessidade de mais investigações a longo prazo sobre a biodistribuição e o acúmulo em órgãos, como fígado e baço, que podem afetar a segurança do tratamento a longo prazo. Melhorias no design das nanopartículas, com materiais biodegradáveis, têm sido sugeridas para mitigar esses riscos. A pesquisa sobre a aplicação de nanopartículas magnéticas em hipertermia tem demonstrado a importância da personalização dos tratamentos para atender às necessidades específicas de cada paciente. (Santos *et al*., 2024).

Além disso, a capacidade de ajustar a formulação das NPMs, levando em conta fatores como o tipo de câncer, o tamanho do tumor e as características do microambiente tumoral, pode resultar em uma resposta terapêutica mais eficiente e direcionada. Estudos recentes sugerem que a utilização de plataformas de modelagem computacional pode ajudar a prever a interação entre as NPMs e as células tumorais, permitindo o design de tratamentos mais eficazes e personalizados. Essa abordagem pode não apenas aumentar as taxas de resposta, mas também minimizar os efeitos colaterais, contribuindo para uma experiência de tratamento mais confortável e menos traumática para os pacientes em tratamento oncológico (Silva *et al*., 2020).

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A revisão sistemática sobre o uso de nanopartículas de óxido de ferro (Fe₃O₄) em hipertermia magnética para o tratamento do câncer revela um panorama promissor para a aplicação dessa tecnologia emergente. Os estudos analisados demonstraram que as nanopartículas oferecem vantagens significativas, como a possibilidade de direcionamento específico ao tumor e a minimização de efeitos colaterais em comparação aos tratamentos tradicionais. Além disso, a combinação da hipertermia com a liberação controlada de fármacos tem potencial para melhorar a eficácia das terapias oncológicas, contribuindo para um tratamento mais eficaz e menos invasivo.

No entanto, desafios persistem, como a padronização dos métodos de síntese e a avaliação da biocompatibilidade das nanopartículas em modelos clínicos. A necessidade de mais estudos sobre a estabilidade e eficácia a longo prazo das nanopartículas em ambientes biológicos é essencial para a transição dessa tecnologia da pesquisa para a prática clínica. Assim, a colaboração entre instituições acadêmicas, indústrias e clínicas é fundamental para superar as barreiras existentes e explorar plenamente o potencial das nanopartículas magnéticas na hipertermia para o tratamento do câncer, visando um futuro mais eficaz e seguro para os pacientes.

**REFERÊNCIAS**

ALVES, Lucas Repecka et al. Aplicações de hidrogéis como biomateriais: uma revisão de dissertações e teses brasileiras desde 2017. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 2, p. 53-79, 2021.

DA PAZ, Carolina Lopes et al. Efeito da substituição de cério na constante de anisotropia magnetocristalina de uma ferrita mista de manganês e zinco. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 5, p. e4281-e4281, 2024.

DE OLIVEIRA, P. H. A.; SINNECKER, J. P.; DE OLIVEIRA, L. A. S. Desenvolvimento de um magnetômetro de indução AC para frequências de áudio e rádio. **Notas Técnicas**, v. 10, n. 1, 2020.

DE VASCONCELOS JUNIOR, Silvio Marçal et al. Avanços tecnológicos em nanomedicina e lipossomas: Promessas e desafios na medicina moderna. **Seven Editora**, 2024.

FONTES, Yasmim Carla Santos et al. Imunoterapia e nanotecnologia: associação promissora no tratamento de neoplasias. **Revista Remecs-Revista Multidisciplinar de Estudos Científicos em Saúde**, v. 9, n. 15, p. 156-167, 2024.

LANDIM, Marcela G.; OMBREDANE, Alicia S.; JOANITTI, Graziella A. Aplicações da Nanotecnologia na prevenção, no diagnóstico e no tratamento do câncer. **NANOTECNOLOGIA: CONSIDERAÇÕES EM MATERIAIS, SAÚDE E MEIO AMBIENTE**, p. 220, 2022.

MAMANI, Javier Bustamante et al. Terapia de magneto-hipertermia no modelo de tumor de glioblastoma on-a-Chip. **einstein (São Paulo)**, v. 18, p. eAO4954, 2020.

ROCHA, José Marcos Vieira. Toxicidade aguda in vitro e in vivo (via oral) de nanopartícula de óxido de ferro revestida com citrato (IONPs). **Orientador: André Almeida Schenka**, v. 69, 2021.

RODRIGUES, Francisca Vânia Pereira et al. A perspectiva educativa nos laboratórios de pesquisa: um diálogo entre a escola básica e a universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 193-215, 2021.

SANTOS, Carolina Cardoso et al. Nanomagnetismo no diagnóstico precoce e tratamento do câncer: Uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 6, p. e6313645983-e6313645983, 2024.

SILVA, Adriana Leonardo Lima; DE MORAES, Paula Rocha; MARUM, Darlan Silveira. DESAFIO DO TRATAMENTO DE CÂNCER APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Revista Transformar**, v. 14, n. 1, p. 528-539, 2020.

VINÍCIUS-ARAÚJO, Marcus; ROCHA, João Victor Ribeiro; BAKUZIS, Andris F. Nanopartículas Magnéticas à Base de Óxido de Ferro: Propriedades Magnéticas e Aplicações na Medicina. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, n. suppl. 1, p. e20240187, 2024.