



Nanopartículas de ferrita de cobalto: propriedades químicas e potenciais aplicações biomédicas

Edenise Tavares da Silva¹; Maria José da Silva²; Maiane Silva Barbosa de Moraes³; Thallys Mendes da Silva⁴; Moara Targino da Silva⁵; Elton Max Nascimento do Egito⁶, Dário César de Oliveira Conceição⁷

Como Citar:

DA SILVA, Edenise Tavares; DA SILVA, Maria José; DE MORAES, Maiane Silva Barbosa. *et al.* Nanopartículas de ferrita de cobalto: propriedades químicas e potenciais aplicações biomédicas. *Revista Sociedade Científica*, vol.8, n. 1, p.98-115, 2025. <https://doi.org/10.61411/rsc202595818>

DOI: 10.61411/rsc202595818

Área do conhecimento: Ciências da Saúde.

Sub-área: Farmácia.

Palavras-chaves: Nanopartículas, Ferrita de Cobalto, Propriedades Químicas, Aplicações Biomédicas.

Publicado: 30 de dezembro de 2024.

Resumo

As nanopartículas magnéticas têm atraído crescente interesse no campo biomédico devido às suas propriedades únicas, especialmente as relacionadas à ferrita de cobalto (CoFe_2O_4). Essas nanopartículas destacam-se por sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e baixa toxicidade, o que as torna uma das opções mais promissoras entre as ferritas de espinélio. O presente estudo tem como objetivo revisar as propriedades químicas das NPMs de ferrita de cobalto e sua aplicação no setor biomédico. Realizou-se uma revisão integrativa da literatura, com levantamento de dados em bases de dados científicas como a Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Scielo, PubMed e ScienceDirect. A pesquisa foi restrita a artigos publicados entre 2019 a 2024, com exclusão de duplicatas, selecionando-se apenas aqueles que estavam alinhados com o tema proposto. Após a análise dos artigos, observou-se que as NPMs de ferrita de cobalto são amplamente utilizadas em aplicações como liberação controlada de fármacos, agentes de contraste para imagem por ressonância magnética, tratamentos de tumores via hipertermia magnética, separação biomolecular magnética e diagnósticos. No entanto, alguns desafios permanecem, especialmente em relação à toxicidade associada ao tratamento por hipertermia, uma vez que altas concentrações de cobalto podem ser prejudiciais à saúde. Além disso, questões relacionadas ao controle do tamanho das partículas, crescimento e supersaturação, ainda necessitam de maior atenção para otimizar os resultados terapêuticos. Dessa forma, as nanopartículas de ferrita de cobalto apresentam um considerável potencial para aplicações biomédicas.

¹Faculdade Santíssima Trindade, Nazaré da Mata-PE, Brasil. ✉

²Faculdade Santíssima Trindade, Nazaré da Mata-PE, Brasil. ✉

³Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil. ✉

⁴Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil. ✉

⁵Faculdade Santíssima Trindade, Nazaré da Mata-PE, Brasil. ✉

⁶ Faculdade Santíssima Trindade, Nazaré da Mata-PE, Brasil. ✉

⁷Faculdade Santíssima Trindade, Nazaré da Mata-PE, Brasil. ✉



Cobalt ferrite nanoparticles: chemical properties and potential biomedical applications

Abstract

Magnetic nanoparticles have garnered increasing interest in the biomedical field due to their unique properties, especially those related to cobalt ferrite (CoFe_2O_4). These nanoparticles stand out for their biocompatibility, biodegradability, and low toxicity, making them one of the most promising options among spinel ferrites. This study aims to review the chemical properties of cobalt ferrite magnetic nanoparticles (MNPs) and their applications in the biomedical sector. An integrative literature review was conducted, collecting data from scientific databases such as the Virtual Health Library (VHL), Scielo, PubMed, and ScienceDirect. The research was limited to articles published between 2019 and 2024, excluding duplicates and selecting only those aligned with the proposed theme. After analyzing the articles, it was observed that cobalt ferrite MNPs are widely used in applications such as controlled drug delivery, contrast agents for magnetic resonance imaging, tumor treatments via magnetic hyperthermia, magnetic biomolecular separation, and diagnostics. However, some challenges remain, particularly regarding the toxicity associated with hyperthermia treatment, as high concentrations of cobalt can be harmful to health. Additionally, issues related to particle size control, growth, and supersaturation still require further attention to optimize therapeutic outcomes. Thus, cobalt ferrite nanoparticles hold considerable potential for biomedical applications.

Keywords: Nanoparticles; Cobalt Ferrite; Chemical Properties, Biomedical Applications.

1. Introdução

As nanopartículas magnéticas (NPMs) têm atraído crescente interesse no campo científico devido às suas propriedades únicas e diversas aplicações em áreas como



medicina, eletrônica e meio ambiente. Entre as NPMs, as de ferrita de cobalto (CoFe_2O_4) destacam-se por sua alta estabilidade química, biocompatibilidade e características magnéticas excepcionais, como ferromagnetismo à temperatura ambiente e alta magnetização de saturação [1]. Essas propriedades tornam o CoFe_2O_4 uma candidata promissora para uma variedade de aplicações biomédicas, especialmente em diagnósticos e tratamentos terapêuticos [2].

Com dimensões de até 100 nm, as nanopartículas de ferrita de cobalto possuem uma alta área superficial e capacidade de penetração em barreiras biológicas, como a barreira hematoencefálica (BHE) [3]. Essa característica é crucial para a liberação controlada de fármacos e terapias direcionadas, pois permite a entrega eficiente de medicamentos diretamente às células-alvo, minimizando os efeitos adversos nos tecidos saudáveis [4]. Além disso, sua baixa condutividade elétrica e estrutura cristalina de espinélio inverso oferecem vantagens em dispositivos de alta frequência e estabilidade térmica [5].

Apesar das vantagens mencionadas, alguns desafios permanecem na aplicação das nanopartículas de ferrita de cobalto, especialmente relacionados à toxicidade potencial associada ao uso de altas concentrações de cobalto em tratamentos terapêuticos e na necessidade de um controle mais rigoroso sobre o tamanho e funcionalização das partículas para otimizar sua eficácia e segurança [3]. Essas limitações ressaltam a importância de estudos adicionais para aprimorar as técnicas de síntese e funcionalização das partículas, de forma a garantir que suas propriedades sejam maximamente aproveitadas sem comprometer a saúde dos pacientes. O presente estudo, portanto, busca explorar essas questões, com o objetivo de fornecer uma compreensão mais profunda da eficácia das CoFe_2O_4 em aplicações biomédicas, ao mesmo tempo em que propõe soluções para superar os desafios existentes.



No contexto da medicina moderna, as CoFe_2O_4 têm sido amplamente investigadas para a hipertermia magnética, uma técnica que utiliza nanopartículas para gerar calor localizado em resposta a campos magnéticos externos, com o objetivo de destruir células tumorais sem causar danos significativos aos tecidos saudáveis [6]. Essa abordagem tem demonstrado alta eficácia no tratamento de cânceres resistentes, oferecendo uma alternativa minimamente invasiva e altamente precisa [7][8]. Além disso, as CoFe_2O_4 são utilizadas como agentes de contraste em exames de imagem por ressonância magnética (MRI), melhorando a qualidade das imagens, reduzindo o tempo necessário para os exames e permitindo a detecção precoce de patologias, como tumores e doenças inflamatórias [9].

Outro aspecto promissor das CoFe_2O_4 é seu potencial antimicrobiano e antiviral. Pesquisas recentes indicaram que essas nanopartículas podem inibir a replicação viral, incluindo o SARS-CoV, agente causador da síndrome respiratória aguda grave [10]. Esse efeito, aliado a sua versatilidade em outras aplicações biomédicas, como liberação controlada de fármacos e desenvolvimento de biossensores, demonstra o amplo espectro de possibilidades para essas partículas no campo da saúde [11].

Embora as CoFe_2O_4 ofereçam uma série de vantagens, é fundamental destacar que o método de síntese utilizado impacta diretamente seu desempenho [20]. Técnicas como síntese verde, sol-gel e combustão instantânea têm sido utilizadas para controlar o tamanho e a funcionalização das partículas, aspectos que são cruciais para maximizar sua eficácia terapêutica e segurança biológica [12]. Estudos indicam que partículas menores, com tamanhos abaixo de 30 nm, apresentam maior capacidade de direcionamento e menor toxicidade, um fator importante para a realização de tratamentos mais seguros e eficazes [13].

Dessa forma, o desenvolvimento de nanopartículas de ferrita de cobalto representa um avanço significativo para a nanotecnologia biomédica. Este estudo visa não apenas revisar as propriedades químicas e magnéticas das CoFe_2O_4 , mas também abor-



dar os desafios técnicos e terapêuticos associados ao seu uso, propondo soluções para otimizar sua aplicabilidade clínica. Ao revisar a literatura recente, espera-se contribuir para o avanço prático e teórico das nanopartículas de ferrita de cobalto, apontando direções futuras para sua aplicação em contextos clínicos e tecnológicos [14][15]. O estudo também propõe que, ao resolver os desafios de toxicidade e controle de tamanho das partículas, as CoFe_2O_4 poderão alcançar um novo nível de eficiência em tratamentos biomédicos, oferecendo alternativas mais eficazes e seguras para o diagnóstico e tratamento de diversas patologias.

2. Metodologia

Este estudo constitui uma revisão bibliográfica de caráter descritivo e qualitativo, com o objetivo de analisar as propriedades e as aplicações biomédicas das nanopartículas de ferrita de cobalto (CoFe_2O_4). A revisão foi conduzida com base em evidências, abrangendo tantas pesquisas experimentais quanto não experimentais, seguindo um processo sistemático estruturado em cinco etapas principais: formulação da pergunta de pesquisa, estratégia de busca, definição de critérios de inclusão e exclusão, seleção dos estudos e extração e organização dos dados.

Inicialmente, foi formulada a pergunta de pesquisa para direcionar o estudo: Quais as propriedades e aplicações biomédicas das nanopartículas de ferrita de cobalto relatadas na literatura científica recente (2021–2024) Esta questão central orientou toda a pesquisa, garantindo foco e relevância na seleção dos estudos a serem revisados.

A segunda etapa envolveu a estratégia de busca. Realizou-se uma busca sistemática em quatro bases de dados científicas amplamente reconhecidas: Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Scientific Electronic Library Online (SciELO), National Library of Medicine (PubMed) e ScienceDirect. Para maximizar a recuperação de artigos relevantes, foram utilizados termos específicos combinados com operadores booleanos, tais como “Cobalt Ferrite Nanoparticles”, “Biomedical Applications”, “Magnetic Hyperthermia”, “Drug Delivery” e “MRI Contrast Agent”. A busca foi



restrita ao período de 2021 a 2024 e considerou publicações em inglês e português, visando captar os estudos mais recentes e pertinentes ao tema.

Posteriormente, foram estabelecidos os critérios de inclusão e exclusão para assegurar a relevância e a qualidade dos dados analisados. Entre os critérios de inclusão, foram considerados estudos experimentais ou revisões sistemáticas diretamente relacionados às nanopartículas de ferrita de cobalto, artigos completos disponíveis em texto integral, publicações em inglês ou português no período de 2021 a 2024, e estudos que apresentassem dados sobre síntese, propriedades físico-químicas ou aplicações biomédicas das nanopartículas. Por outro lado, os critérios de exclusão eliminaram estudos duplicados entre as bases de dados, revisões narrativas, editoriais, artigos de opinião, dissertações, teses e trabalhos que não abordassem especificamente as nanopartículas de ferrita de cobalto na biomedicina.

A aplicação da estratégia de busca resultou inicialmente na identificação de 585 artigos. Destes, 286 foram excluídos por se tratarem de duplicatas. Os 299 artigos restantes foram submetidos a uma triagem inicial baseada nos títulos e resumos, o que levou à exclusão de 224 estudos que não atendiam aos critérios de relevância temática por não tratarem de aplicações biomédicas. Posteriormente, 75 artigos foram selecionados para leitura integral, dos quais 45 foram considerados relevantes para uma análise mais aprofundada por tratarem de estudos *in vitro* ou *in vivo*. Finalmente, após uma avaliação detalhada, 8 artigos foram incluídos na amostra final da revisão por tratarem do todo o processo de obtenção, caracterização e aplicação das partículas alvo desse estudo. A figura 1 mostra o processo de tratamento dos dados obtidos.

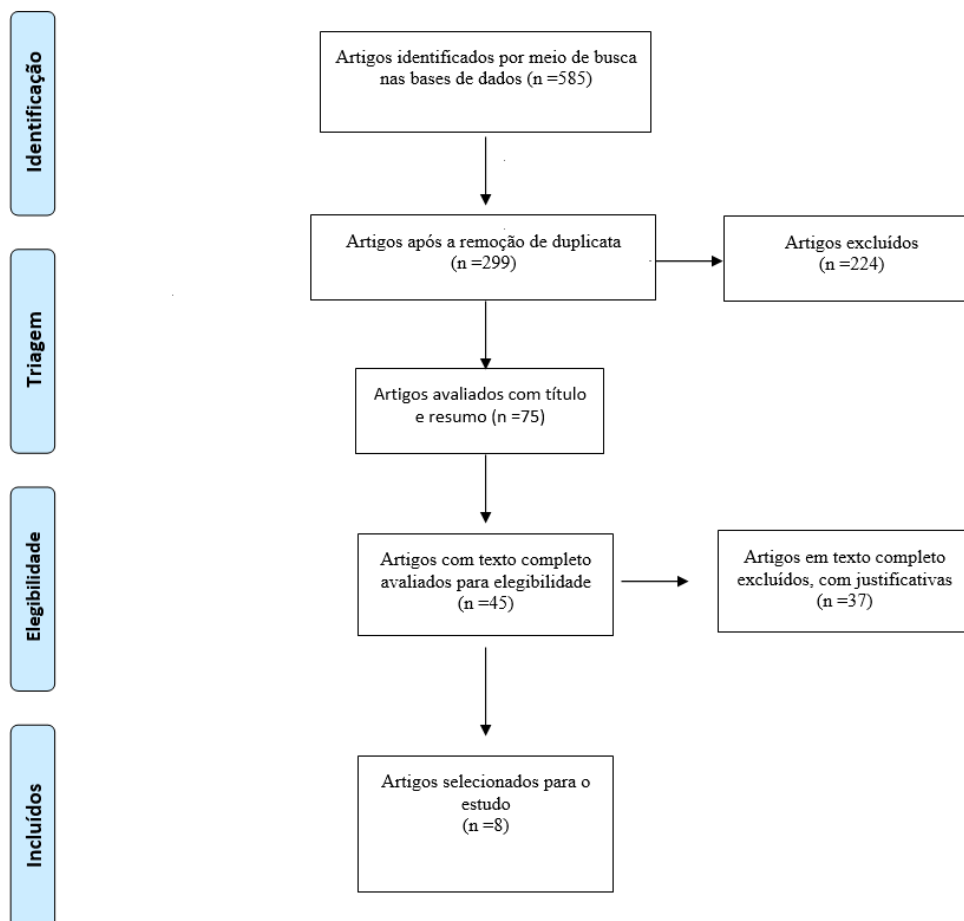


Figura 1 - Diagrama de fluxo do processo de seleção de artigos.

Na etapa de extração e organização dos dados, os artigos selecionados foram analisados e sistematizados em uma planilha contendo as seguintes informações: título do artigo, autores, ano de publicação, base de dados de origem, local do estudo, método de síntese utilizado, tamanho das nanopartículas e aplicações descritas. Essa sistematização permitiu organizar e categorizar os trabalhos para uma análise mais abrangente. A categorização dos dados possibilitou a identificação de tendências principais nos métodos de síntese, nas propriedades físico-químicas e nas aplicações biomédicas das nanopartículas de ferrita de cobalto.



Este método garantiu uma revisão robusta e abrangente da literatura existente, consolidando o conhecimento sobre as nanopartículas de ferrita de cobalto e identificando lacunas para futuras pesquisas. A abordagem metódica adotada assegurou a relevância e a qualidade dos dados analisados, proporcionando uma base sólida para as conclusões deste estudo.

3. Resultados e discussão

A análise qualitativa dos dados destacou as similaridades e diferenças entre os estudos em relação aos métodos de síntese, às propriedades magnéticas e às aplicações biomédicas das nanopartículas. Este estudo apresenta uma revisão qualitativa das propriedades químicas, magnéticas e aplicações biomédicas das nanopartículas de ferrita de cobalto (CoFe_2O_4), com base em publicações científicas recentes. Os resultados foram organizados e categorizados de acordo com métodos de síntese, características físico-químicas e principais aplicações biomédicas, como tratamentos anticâncer, terapias por hipertermia e entrega controlada de medicamentos. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais dados extraídos dos estudos revisados, destacando o tipo de síntese utilizado, as aplicações biomédicas e os resultados significativos de cada investigação.

Tabela 1. Caracterização dos artigos da amostra final, Nazaré da Mata (PE), Brasil, 2024.

Artigo	Síntese	Aplicações	Principais Resultados
Sheena; Jacob., 2024 [12]	Síntese verde utilizando extrato de folha de <i>Barleira lupina</i> .	Foram avaliados a sua toxicidade em linha celular de câncer de mama humano (MCF-7), como também a linha de células e fibroblastos L929 normais.	Amostras potentes nas atividades anticâncer contra as células de câncer de mama MCF-7, foram consideradas menos citotóxicas com as linhas celulares normais de fibroblastos
Conceição, <i>et al.</i> , 2024 [16]	Síntese Solvotermal em Etilenoglicou	Aplicações de hipertermia magnética	Sob um campo magnético alternado de 378,5 kHz, as nanopartículas de ferrita



REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 7, NÚMERO 1, ANO 2024

			de cobalto demonstraram uma variação de temperatura de 9,7 °C, indicando potencial para tratamentos terapêuticos, como hipertermia oncológica
Yadav, <i>et al.</i> , 2023 [13]	Método de STOBBER	Aplicações de hipertermia, regeneração dos tecidos ósseos e a administração controlada de medicamentos.	As análises magnéticas confirmam que a ferrita de cobalto e seus compostos exibem a ação super magnética, com avaliação de aquecimento com taxas mais altas para CFO 12.5 e baixa para CFO.
Rezaeivala <i>et al.</i> , 2024 [17]	Método precipitação sol-gel	Foram avaliados os efeitos multimodais de terapias fototérmica (PTT), fotodinâmica (PDT) e quimioterápica combinadas, mediadas por nanopartículas de ferrita de cobalto revestidas com ouro em forma de espinhos (CoFe ₂ O ₄ @Spiky Au) em células de câncer de mama (MDA-MB-231).	A irradiação combinada promoveu uma redução significativa na viabilidade celular em função do comprimento de onda e do tipo de luz utilizada. A camada de ouro espinhoso aprimorou as propriedades fototérmicas e fotodinâmicas.
Gheidari <i>et al.</i> , 2022 [11]	Síntese Solvotérmica	Antimicrobiano frente a <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Escherichia coli</i> , <i>Bacillus cereus</i>	Os resultados demonstraram que <i>Staphylococcus aureus</i> apresentou maior sensibilidade as nanopartículas de ferrita de cobalto. Além disso, também foi observada uma eficiência das nanopartículas contra as cepas <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Escherichia coli</i> , além de apresentar efeitos inibitórios e letais sobre <i>Bacillus cereus</i> em quantidades menores.
Jamir <i>et al.</i> , 2023	Síntese Solvotérmica	Produção de energia térmica para aplicação em tratamento com hipertermia magnética.	Foi revelado que o aumento do conteúdo de Cu ⁺² na estrutura da nanopartícula de CoFe ₂ O ₄ melhora as suas características magnéticas, enquanto o revestimento



			das nanopartículas com quitosana melhora a biocompatibilidade e o desempenho da taxa de absorção específica.
Vishwakarma <i>et al.</i> , 2022 [19]	Síntese por co-precipitação procedida pelo processo hidrotermal	Antibacteriana	O nanocompósito CoFe ₂ O ₄ /PANI exibiu boa atividade antibacteriana contra o crescimento de <i>E. coli</i> , além de também funcionar como um agente antibacteriano para outras espécies bacterianas. A análise da cinética de crescimento revelou que o crescimento bacteriano máximo foi inibido na presença do nanocompósito CoFe ₂ O ₄ /PANI para diferentes cepas bacterianas.
Ansary <i>et al.</i> , 2023 [4]	Método de autocombustão,	Tratamentos de tumores via hipertermia	As nanopartículas foram utilizadas para obtenção de contraste de forma eficiente na aquisição de imagens e terapia hipertermia.

Fonte: Autores (2024)

Os resultados apresentados na tabela reforçam o potencial significativo das nanopartículas de ferrita de cobalto em diversas aplicações biomédicas, como tratamentos oncológicos, antibacterianos e transporte de fármacos. Embora esses resultados demonstrem avanços consideráveis, uma análise mais profunda dos dados e a identificação de lacunas no conhecimento são essenciais para orientar futuras pesquisas, visando superar desafios e alcançar progressos mais substanciais na aplicação dessas nanopartículas no campo biomédico.

3.1 Eficácia Terapêutica



A aplicação de nanopartículas de ferrita de cobalto (CoFe_2O_4) em hipertermia magnética tem se mostrado eficaz em várias abordagens terapêuticas. Por exemplo, o estudo de Conceição et al. (2024) [15] observou um aumento de temperatura de $9,7^\circ\text{C}$ sob um campo magnético alternado, o que demonstrou a eficácia no tratamento de tumores. Contudo, a variabilidade observada nas taxas de aquecimento em diferentes estudos sugere que fatores como a morfologia, o revestimento das partículas e a concentração dos íons metálicos são determinantes cruciais para o sucesso dessa abordagem. O desenvolvimento de métodos mais precisos para controlar esses parâmetros é essencial para otimizar os resultados terapêuticos. Além disso, terapias combinadas, como fototérmica (PTT), fotodinâmica (PDT) e quimioterapia, mostraram reduções significativas na viabilidade celular de cânceres agressivos, conforme evidenciado por Rezaeivala et al. (2024) [16]. Essas abordagens multimodais, que combinam efeitos térmicos, oxidativos e quimioterápicos, são promissoras, mas necessitam de mais investigações sobre a sinergia entre elas e os impactos em tecidos saudáveis para garantir segurança e eficácia em tratamentos.

3.2 **Propriedades Antimicrobianas**

As nanopartículas de CoFe_2O_4 demonstraram grande potencial antimicrobiano, com eficácia comprovada contra microrganismos como *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* [11][18]. A inibição bacteriana ocorre por meio da liberação controlada de íons metálicos e da geração de radicais livres, que danificam as membranas celulares e biomoléculas essenciais. Embora os resultados sejam promissores, especialmente para cepas resistentes, ainda existem lacunas significativas, como o impacto ambiental do descarte dessas nanopartículas e os riscos potenciais de indução de resistência bacteriana com o uso prolongado. A realização de estudos de longo prazo, com foco na interação das nanopartículas com microbiomas naturais, pode fornecer dados cruciais sobre sua viabilidade em ambientes clínicos e não clínicos [21].

3.3 **Métodos de Síntese e Biocompatibilidade**



Diversos métodos de síntese, como solvotérmico, autocombustão e co-precipitação, têm sido aplicados para controlar as propriedades magnéticas, o tamanho das partículas e a biocompatibilidade das nanopartículas de ferrita de cobalto [17]. No entanto, ainda existem desafios técnicos relacionados à padronização desses processos, especialmente para obter partículas com morfologia e tamanho consistentes. Além disso, embora estudos indiquem baixa citotoxicidade em fibroblastos normais, a toxicidade em longo prazo, especialmente em organismos multicelulares, precisa ser mais bem compreendida. Melhorias na funcionalização das nanopartículas, como o uso de polímeros biocompatíveis e revestimentos que minimizem efeitos adversos, devem ser uma prioridade para garantir a segurança e o sucesso dos tratamentos clínicos [18].

3.4 Aplicações Multimodais

As nanopartículas de CoFe_2O_4 também se destacam por suas aplicações multimodais, ampliando seu potencial terapêutico e diagnóstico. Além de seu uso em tratamentos oncológicos e antibacterianos, essas partículas têm demonstrado grande eficácia no transporte direcionado de fármacos e em técnicas de imagem diagnóstica avançada. A funcionalização com materiais biocompatíveis, como quitosana, melhora a interação com células-alvo e reduz os riscos de toxicidade sistêmica [17].

Além disso, a utilização das nanopartículas como agentes de contraste em exames de ressonância magnética (RM) tem sido particularmente vantajosa, uma vez que melhora a qualidade das imagens e permite uma detecção mais precisa de tumores e outras patologias. No entanto, o desenvolvimento de nanopartículas mais específicas para diferentes condições médicas e a adaptação de suas propriedades magnéticas para atender aos requisitos diagnósticos ainda representam desafios técnicos importantes [20].

3.5 Desafios ao Uso de Nanopartículas de Ferrita de Cobalto no Contexto Biomédico



Apesar de estudos indicarem baixa citotoxicidade em fibroblastos normais, os efeitos cumulativos e a toxicidade a longo prazo das nanopartículas de ferrita de cobalto ainda são pouco compreendidos, o que exige mais pesquisas *in vivo* e ensaios prolongados para garantir sua segurança em organismos multicelulares. Além disso, a funcionalidade e a biocompatibilidade dessas nanopartículas são altamente influenciadas por fatores como o tipo de revestimento, especialmente com materiais como polímeros. Pesquisas detalhadas sobre a interação das nanopartículas com diferentes tecidos celulares são essenciais para otimizar suas aplicações terapêuticas [21].

A variabilidade nos métodos de síntese, que afeta diretamente características fundamentais como tamanho e magnetismo das partículas, demanda o desenvolvimento de estudos comparativos para identificar os processos mais eficientes para cada aplicação específica. Embora terapias como a hipertermia magnética e abordagens combinadas mostrem grande potencial, áreas como imunoterapia, regeneração tecidual e tratamento de doenças infecciosas ainda são pouco exploradas, representando oportunidades promissoras para investigações futuras [19].

Esse panorama de resultados e discussões destaca tanto os avanços significativos quanto os desafios que ainda precisam ser enfrentados. O objetivo deste estudo é não apenas revisar as propriedades químicas e magnéticas das nanopartículas de ferrita de cobalto, mas também fornecer direções para pesquisas futuras que possam superar essas barreiras e ampliar suas aplicações clínicas e tecnológicas.

4. **Conclusão**

As nanopartículas de ferrita de cobalto (CoFe_2O_4) possuem propriedades químicas e magnéticas excepcionais que as tornam altamente promissoras para diversas aplicações biomédicas. Este estudo revisou de maneira integrativa os avanços mais recentes sobre suas propriedades, métodos de síntese e suas aplicações terapêuticas,



com ênfase em áreas como liberação controlada de fármacos, diagnóstico por ressonância magnética, e tratamentos de câncer via hipertermia magnética.

Os resultados analisados demonstraram que as nanopartículas de ferrita de cobalto apresentam alto potencial terapêutico, especialmente em tratamentos de tumores e na modulação de processos celulares, com ênfase na sua biocompatibilidade e eficiência em tratamentos minimamente invasivos. No entanto, apesar de seu grande potencial, algumas limitações ainda precisam ser superadas, principalmente em relação à toxicidade associada ao cobalto e ao controle rigoroso sobre o tamanho e a funcionalização das partículas. Estes desafios indicam a necessidade de mais estudos para otimizar as condições de síntese, para que as propriedades das nanopartículas possam ser melhor aproveitadas sem riscos para a saúde humana.

Além disso, as técnicas de síntese como sol-gel, síntese verde, e solvotérmica têm mostrado grande eficácia na obtenção de partículas com características ideais para aplicações clínicas. O controle do tamanho das nanopartículas e a funcionalização com materiais como ouro e quitosana têm potencial para melhorar tanto a eficácia terapêutica quanto a segurança biológica.

Em resumo, as nanopartículas de ferrita de cobalto representam uma área promissora da nanotecnologia aplicada à biomedicina, com aplicações que vão desde a imagem por ressonância magnética até terapias de hipertermia para o tratamento de tumores. Superados os desafios relacionados à toxicidade e à controle preciso das características das partículas, espera-se que esses materiais possam fornecer novas soluções eficazes e seguras para a medicina moderna.

5. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados à terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não



cometer plágio ou auto plágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

6. Referências

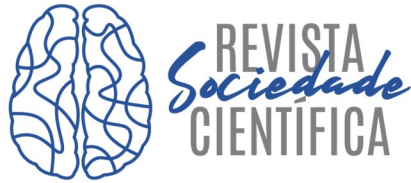
1. BARANI, M. *et al.* Recent application of cobalt ferrite nanoparticles as a theranostic agent. *Materials Today Chemistry*, ISSN 2468-5194, v. 26, p. 101131, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2022.101131>
2. TORCHILIN, V. P. Targeted polymeric micelles for delivery of poorly soluble drugs. *Cellular and Molecular Life Sciences*, ISSN 1420-9071 v. 61, n. 19-20, p. 2549–2559, out. 2004. <https://doi.org/10.1007/s00018-004-4153-5>
3. DING, Z. *et al.* Nanotechnology-based drug delivery systems for enhanced diagnosis and therapy of oral cancer. *Journal of Materials Chemistry B*, ISSN 2050-7518 v. 8, n. 38, p. 8781–8793, 1 jan. 2020. <https://doi.org/10.1039/D0TB00957A>
4. ANSARI M. S. ; YESSAPPA D. P. *et al.* Effect of Manganese-Doping on the chemical and optical properties of cobalt ferrite nanoparticles. *Materials Science and Engineering*, ISSN 2191-9097 p. 117134, 2023. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2023-0575>
5. KHARISOV, B. I *et al.*, O. V. Ferrite nanoparticles in the catalysis. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 12, n. 7, p. 1234–1246, nov. 2019.
6. FALLEIROS, J P. B, BRANDL, A, FONSECA, A. R. A.. Aplicações da nanotecnologia no diagnóstico e tratamento de câncer, *Revista Nucleos*, v. 8, n. 1, p. 1–20, 2011. <https://doi.org/10.3738/nucleus.v8i1.453>
7. DURAISAMY, K. *et al.*; Single domain soft ferromagnetic ferrofluid suitable for intratumoral magnetic hyperthermia. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, ISSN v. 684, p. 133049, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.133049>



8. BHUSHAN, Shashank; KUMAR, Vivek; MUZZAMMIL, Md.; et al. Antibacterial activity of PANI coated CoFe_2O_4 nanocomposite for gram-positive and gram-negative bacterial strains. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, ISSN 2214-7853 v. 684, p. 133049, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.234>
9. KYEONG, S. *et al.* Magnetic Nanoparticles. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, ISSN 2214-8019, p. 191–215, 1 jan. 2021. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-33-6158-4_8
10. ASLIBEIKE, B. *et al.* Magnetic hyperthermia properties of CoFe_2O_4 nanoparticles: Effect of polymer coating and interparticle interactions. *Ceramics International*, ISSN 1873-3956, v. 48, p. 27995-28005, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.104>
11. GHEIDARI, D. *et al.* Synthesis of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BiOI}$ nanocomposite; Its application as an antibacterial agent. *Applied Organometallic Chemistry*, ISSN 1099-0739, v. 36, n. 4, 2 fev. 2022. <https://doi.org/10.1002/aoc.6611>
12. SHEENA, T. V.; JACOB, J. Barleria lupulina leaf extract-assisted biosynthesis of cobalt ferrite nanoparticles: Characterization and anticancer activity against MCF-7 cells. *Inorganic Chemistry Communications*, ISSN, 1879-0259, v. 167, p. 112709–112709, 9 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112709>
13. YADAV, A. K. et al. Synergistic effect of CoFe_2O_4 -85S nano bio-glass composites for hyperthermia and controlled drug delivery. *Materialia*, ISSN 2589-1529, v. 32, p. 101884–101884, 1 dez. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2023.101884>
14. JABBAR, R. et al. Preparation and Study of the Effect of pH Value on Structural, Morphological, Electrical and Magnetic Properties of CoFe_2O_4 Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Precipitation Method. *Ceramics*



- International, ISSN 1873-3956, v. 50, n. 17, p. 31114–31123, 27 maio 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.05.417>
15. KUMAR, A. YADAV, V. B. S. SINGH, J., KUMAR, S. S. N. Antibacterial activity of PANI coated CoFe_2O_4 nanocomposite for gram-positive and gram-negative bacterial strains. *Materials Today Communications*, ISSN 2352-4928, v. 31, p. 103229, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103229>
16. CONCEIÇÃO, D.C. O. *et al.* Development of a new method for the preparation of mesoporous magnetic nanoparticles of cobalt ferrite (CoFe_2O_4) with applied parameters for magnetic hyperthermia. *Nano-Structures and Nano-Objects*, ISSN 2352-5088 v. 37, p. 101073–101073, 1 fev. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2023.101073>
17. REZAEIVALA, Z. *et al.* The multimodal effect of Photothermal/Photodynamic/Chemo therapies mediated by $\text{AuCoFe}_2\text{O}_4$ @Spiky nanostructure adjacent to mitoxantrone on breast cancer cells. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*, ISSN 1873-1597 v. 41, p. 103269–103269, 1 mar. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103269>
18. JAMIR, M.; C. BORGHAIN; BORAH, J. P. Study of chitosan coated copper substituted nano-ferrites for hyperthermia applications. *Physica E Low-dimensional Systems and Nanostructures*, ISSN 1873-1759, v. 146, p. 115560–115560, 5 nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2022.115560>
19. VISHWAKARMA, A. K. *et al.* Antibacterial activity of PANI coated CoFe_2O_4 nanocomposite for gram-positive and gram-negative bacterial strains. *Materials Today Communications*, ISSN 2352-4928 v. 31, p. 103229, jun. 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103229>
20. VINÍCIUS-ARAÚJO, M.; ROCHA, J. V. R.; BAKUZIS, A. F. Nanopartículas Magnéticas à Base de Óxido de Ferro: Propriedades Magnéticas e Aplicações na



- Medicina. Revista Brasileira de Ensino de Física, ISSN 1806-9126 v. 46, n. suppl 1, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0187>
21. RIBEIRO, T. *et al.* Síntese, caracterização, atividade antimicrobiana de nanopartículas de ferrita de cobre e sua incorporação em cimento de ionômero de vidro. Química Nova, ISSN 1678-7064 v. 47, n. 4, e-20230120, 1-7, 31 out. 2023. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230120>