

A IMPORTÂNCIA DA NANOTECNOLOGIA NA ENTREGA DE FÁRMACOS AOS TECIDOS DE INTERESSE, UMA REVISÃO NARRATIVA

THE IMPORTANCE OF NANOTECHNOLOGY IN DRUG DELIVERY TO TARGET TISSUES, A NARRATIVE REVIEW

LA IMPORTANCIA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA ENTREGA DE FÁRMACOS A LOS TEJIDOS DE INTERÉS, UNA REVISIÓN NARRATIVA

Lucas dos Santos Sa¹

RESUMO: A nanotecnologia tem se consolidado como uma das áreas mais inovadoras e promissoras da pesquisa biomédica contemporânea, sobretudo no contexto do desenvolvimento de sistemas avançados de liberação de fármacos. As limitações inerentes à farmacoterapia convencional, como baixa solubilidade em meios biológicos, instabilidade química e metabólica, curta meia-vida plasmática, distribuição inespecífica e elevada toxicidade sistêmica, têm impulsionado a busca por estratégias capazes de otimizar a eficácia terapêutica e a segurança dos tratamentos. Nesse cenário, a manipulação de materiais em escala nanométrica permite explorar propriedades físico-químicas diferenciadas, que favorecem a melhoria das características farmacocinéticas e farmacodinâmicas de moléculas terapêuticas. Um dos principais avanços proporcionados pela nanotecnologia é a possibilidade de entrega direcionada de fármacos aos tecidos de interesse, por meio de estratégias de direcionamento passivo e ativo. O direcionamento passivo explora características fisiopatológicas específicas, como o efeito de permeabilidade e retenção aumentada, enquanto o direcionamento ativo envolve a funcionalização da superfície dos nanossistemas com ligantes capazes de reconhecer receptores superexpressos em células-alvo. Essas abordagens contribuem para o aumento da concentração do fármaco no sítio de ação, ao mesmo tempo em que minimizam a exposição de tecidos saudáveis, reduzindo efeitos adversos sistêmicos. Diante desse contexto, esta revisão narrativa tem como objetivo discutir de forma abrangente e crítica os principais conceitos, fundamentos, tipos de nanossistemas, estratégias de direcionamento e aplicações clínicas da nanotecnologia na entrega de fármacos aos tecidos de interesse, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas futuras. A compreensão desses aspectos é fundamental para o avanço da pesquisa translacional e para a consolidação da nanotecnologia como um dos pilares da medicina de precisão e do desenvolvimento de terapias mais eficazes, seguras e direcionadas.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Sistemas de liberação de fármacos. Direcionamento tecidual. Nanomedicina. Terapia direcionada.

¹Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Regional do Cariri-URCA.

ABSTRACT: Nanotechnology has become one of the most innovative and promising fields in contemporary biomedical research, particularly in the development of advanced drug delivery systems. The inherent limitations of conventional pharmacotherapy, such as poor solubility in biological media, chemical and metabolic instability, short plasma half-life, nonspecific distribution, and high systemic toxicity, have driven the search for strategies capable of optimizing therapeutic efficacy and treatment safety. In this context, the manipulation of materials at the nanoscale allows the exploitation of distinct physicochemical properties that enhance the pharmacokinetic and pharmacodynamic characteristics of therapeutic molecules. One of the major advances provided by nanotechnology is the possibility of targeted drug delivery to tissues of interest through passive and active targeting strategies. Passive targeting exploits specific pathophysiological features, such as the enhanced permeability and retention effect, whereas active targeting involves surface functionalization of nanosystems with ligands capable of recognizing overexpressed receptors on target cells. These approaches contribute to increasing drug concentration at the site of action while minimizing exposure of healthy tissues, thereby reducing systemic adverse effects. In this context, this narrative review aims to comprehensively and critically discuss the main concepts, fundamentals, types of nanosystems, targeting strategies, and clinical applications of nanotechnology in drug delivery to tissues of interest, highlighting its advantages, limitations, and future perspectives. Understanding these aspects is essential for advancing translational research and consolidating nanotechnology as one of the pillars of precision medicine and the development of safer, more effective, and targeted therapies.

Keywords: Nanotechnology. Drug delivery systems. Tissue targeting. Nanomedicine. Targeted therapy.

RESUMEN: La nanotecnología se ha consolidado como una de las áreas más innovadoras y prometedoras de la investigación biomédica contemporánea, especialmente en el desarrollo de sistemas avanzados de liberación de fármacos. Las limitaciones inherentes a la farmacoterapia convencional, como la baja solubilidad en medios biológicos, la inestabilidad química y metabólica, la corta vida media plasmática, la distribución inespecífica y la elevada toxicidad sistémica, han impulsado la búsqueda de estrategias capaces de optimizar la eficacia terapéutica y la seguridad de los tratamientos. En este contexto, la manipulación de materiales a escala nanométrica permite explotar propiedades fisicoquímicas diferenciadas que favorecen la mejora de las características farmacocinéticas y farmacodinámicas de las moléculas terapéuticas. Uno de los principales avances proporcionados por la nanotecnología es la posibilidad de la entrega dirigida de fármacos a los tejidos de interés mediante estrategias de direccionamiento pasivo y activo. El direccionamiento pasivo explota características fisiopatológicas específicas, como el efecto de permeabilidad y retención aumentada, mientras que el direccionamiento activo implica la funcionalización de la superficie de los nanosistemas con ligandos capaces de reconocer receptores sobreexpresados en las células diana. Estas estrategias contribuyen a aumentar la concentración del fármaco en el sitio de acción, al tiempo que minimizan la exposición de tejidos sanos, reduciendo los efectos adversos sistémicos. En este contexto, esta revisión narrativa tiene como objetivo discutir de manera amplia y crítica los principales conceptos, fundamentos, tipos de nanosistemas, estrategias de direccionamiento y aplicaciones clínicas de la nanotecnología en la entrega de fármacos a los tejidos de interés, destacando sus ventajas, limitaciones y perspectivas futuras. La comprensión de estos aspectos es fundamental para el avance de la investigación traslacional y para la consolidación de la nanotecnología como

uno de los pilares de la medicina de precisión y del desarrollo de terapias más eficaces, seguras y dirigidas.

Palabras clave: Nanotecnología. Sistemas de liberación de fármacos. Direccionamiento tisular. Nanomedicina. Terapia dirigida.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de fármacos eficazes e seguros continua sendo um dos maiores desafios da ciência farmacêutica e da biomedicina contemporânea. Apesar dos avanços significativos na identificação de novos alvos moleculares e no desenho racional de moléculas bioativas, uma parcela expressiva dos candidatos a fármacos falha durante as etapas pré-clínicas e clínicas. Essas falhas estão frequentemente associadas a limitações farmacocinéticas e farmacodinâmicas, como baixa solubilidade em meios biológicos, instabilidade química e metabólica, curta meia-vida plasmática, distribuição inespecífica e elevada toxicidade sistêmica (Bezerra *et al.*, 2022).

Adicionalmente, muitos fármacos apresentam dificuldade em atravessar barreiras biológicas complexas, como a barreira hematoencefálica, o epitélio intestinal e as membranas celulares, o que compromete a obtenção de concentrações terapêuticas adequadas nos tecidos de interesse. Como consequência, doses elevadas são frequentemente necessárias, aumentando o risco de efeitos adversos e reduzindo a adesão ao tratamento. Esses desafios tornam evidente a necessidade de estratégias inovadoras que permitam otimizar a entrega de agentes terapêuticos de forma mais eficiente e seletiva (Ramirez *et al.*, 2023).

Nesse cenário, a nanotecnologia emerge como uma ferramenta transformadora no campo da liberação de fármacos. A possibilidade de manipular materiais em escala nanométrica permite explorar propriedades físico-químicas únicas, inexistentes em sistemas convencionais, abrindo novas perspectivas para o desenvolvimento de sistemas de entrega mais inteligentes e eficazes. A nanomedicina, área interdisciplinar que integra nanotecnologia, farmacologia, química, biologia e engenharia de materiais, tem como objetivo principal melhorar o desempenho terapêutico de fármacos já existentes e viabilizar a aplicação clínica de novas moléculas promissoras (Sanfelice *et al.*, 2022).

Os sistemas nanotecnológicos de liberação de fármacos possibilitam o encapsulamento, a proteção e o transporte controlado de princípios ativos até o local de ação, reduzindo perdas por degradação prematura e metabolização inespecífica. Além disso, esses sistemas permitem o controle refinado da cinética de liberação, favorecendo perfis de liberação sustentada ou

estímulo-responsivos, de acordo com as características do microambiente patológico (Scatuzzi filho *et al.*, 2023).

Outro aspecto de grande relevância é a capacidade da nanotecnologia em promover a entrega direcionada de fármacos aos tecidos de interesse. Estratégias de direcionamento passivo e ativo permitem aumentar a concentração do fármaco no sítio-alvo, ao mesmo tempo em que minimizam a exposição de tecidos saudáveis. Essa abordagem é particularmente importante no tratamento de doenças crônicas e complexas, como o câncer, infecções persistentes, doenças inflamatórias e distúrbios neurodegenerativos, nas quais a seletividade terapêutica é determinante para o sucesso do tratamento (Oliveira *et al.*, 2022).

Além das aplicações terapêuticas, a nanotecnologia também tem impacto significativo no desenvolvimento de sistemas teranósticos, que integram diagnóstico e terapia em uma única plataforma, permitindo o monitoramento em tempo real da distribuição e da eficácia do tratamento. Esses avanços reforçam o papel estratégico da nanotecnologia como um dos pilares da medicina de precisão (De Farias *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, torna-se evidente a importância de compreender os fundamentos, as aplicações e os desafios associados ao uso da nanotecnologia na entrega de fármacos. Assim, esta revisão narrativa tem como objetivo discutir de forma crítica e integrada os principais conceitos, tipos de nanossistemas, estratégias de direcionamento e aplicações clínicas da nanotecnologia na entrega de fármacos aos tecidos de interesse, destacando seus benefícios, limitações e perspectivas futuras no desenvolvimento de terapias mais seguras, eficazes e direcionadas.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão narrativa da literatura, de caráter descritivo e analítico, com o objetivo de reunir, organizar e discutir de forma crítica os principais avanços científicos relacionados à aplicação da nanotecnologia na entrega de fármacos aos tecidos de interesse, enfatizando conceitos fundamentais, tipos de nanossistemas, estratégias de direcionamento, aplicações terapêuticas, vantagens, desafios e perspectivas futuras.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas internacionais amplamente reconhecidas na área das ciências da saúde e biomédicas, incluindo Google acadêmico, SciELO, PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e ScienceDirect. Adicionalmente, foram consultados livros-texto, documentos técnicos e diretrizes de agências

regulatórias quando considerados relevantes para a compreensão dos aspectos conceituais e translacionais da nanomedicina.

Foram utilizados descritores controlados e não controlados, combinados por meio de operadores booleanos, tais como: nanotechnology, drug delivery systems, nanocarriers, targeted drug delivery, nanomedicine, tissue targeting, liposomes, polymeric nanoparticles e stimuli-responsive systems. As buscas foram realizadas em inglês, português e espanhol, priorizando-se estudos publicados nos últimos 5 anos, a fim de garantir a atualidade das informações, sem prejuízo da inclusão de artigos clássicos considerados fundamentais para o tema.

Os critérios de inclusão contemplaram artigos originais, revisões sistemáticas e narrativas, ensaios pré-clínicos e clínicos, publicados em periódicos indexados, que abordassem direta ou indiretamente a aplicação da nanotecnologia na liberação e no direcionamento de fármacos. Foram excluídos trabalhos duplicados, resumos de congressos, cartas ao editor, artigos sem acesso ao texto completo e estudos cujo conteúdo não apresentasse relevância direta para os objetivos da revisão. A seleção dos estudos foi realizada em etapas, inicialmente por meio da leitura dos títulos e resumos, seguida da análise integral dos textos potencialmente elegíveis. Os artigos selecionados foram avaliados quanto à relevância científica, clareza metodológica e contribuição para a compreensão dos mecanismos, aplicações e limitações dos sistemas nanotecnológicos de liberação de fármacos.

5

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa e interpretativa, permitindo a organização dos achados em categorias temáticas previamente definidas, incluindo fundamentos da nanotecnologia, tipos de nanossistemas, estratégias de direcionamento, aplicações terapêuticas, vantagens, desafios e perspectivas futuras. A discussão foi elaborada de maneira integrada, buscando correlacionar os diferentes aspectos abordados e destacar tendências emergentes e lacunas do conhecimento. Essa abordagem metodológica permitiu uma visão ampla, crítica e atualizada sobre o papel da nanotecnologia na entrega de fármacos aos tecidos de interesse, contribuindo para o entendimento de seu impacto no desenvolvimento de terapias mais eficazes, seguras e direcionadas.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Fundamentos da Nanotecnologia Aplicada à Liberação de Fármacos

A nanotecnologia aplicada à liberação de fármacos baseia-se na utilização de estruturas em escala nanométrica, geralmente variando de 1 a 1000 nm, capazes de interagir de maneira

diferenciada com sistemas biológicos. Nessa escala, propriedades como tamanho, forma, carga superficial, hidrofobicidade e composição química passam a exercer influência decisiva sobre a biodistribuição, internalização celular e destino intracelular dos nanossistemas. Um dos principais fundamentos dessa abordagem é a possibilidade de encapsular, adsorver ou conjugar moléculas terapêuticas às nanopartículas, protegendo-as contra degradação química e enzimática antes de atingirem o tecido-alvo. Essa proteção é particularmente relevante para fármacos instáveis, biomoléculas sensíveis, como proteínas e ácidos nucleicos, e compostos com baixa biodisponibilidade oral (Franco *et al.*, 2025).

Além disso, a elevada área superficial das nanopartículas permite interações específicas com componentes celulares, favorecendo processos como endocitose e transcitose. O controle racional desses parâmetros possibilita modular a cinética de liberação do fármaco, permitindo desde uma liberação rápida até perfis prolongados e sustentados, de acordo com a necessidade terapêutica (Schuster *et al.*, 2025).

Outro aspecto central é o desenvolvimento de nanossistemas estímulo-responsivos, projetados para liberar o fármaco em resposta a condições específicas do microambiente patológico, como pH ácido, presença de enzimas específicas, gradientes redox ou estímulos externos, como luz e campos magnéticos. Essa abordagem aumenta significativamente a seletividade terapêutica e reduz efeitos adversos sistêmicos (Do Nascimento *et al.*, 2024).

3.2 Principais Nanossistemas Utilizados na Entrega de Fármacos

O avanço da nanomedicina resultou no desenvolvimento de uma ampla diversidade de nanossistemas, cada um com características específicas que determinam sua aplicabilidade clínica.

3.3 Nanopartículas Poliméricas

As nanopartículas poliméricas destacam-se pela versatilidade estrutural e pela possibilidade de utilização de polímeros biodegradáveis e biocompatíveis, como poli(ácido láctico-co-glicólico) (PLGA), quitosana, alginato e polietilenoglicol (PEG). Esses sistemas permitem o encapsulamento de fármacos hidrofílicos e hidrofóbicos, além de possibilitar modificações químicas para controle da liberação e direcionamento ativo. A biodegradação controlada desses polímeros favorece a liberação sustentada do fármaco e reduz riscos de

acúmulo tóxico no organismo, tornando-os particularmente atrativos para aplicações clínicas de longo prazo (Alcântara, 2024).

3.4 Lipossomas

Os lipossomas são sistemas vesiculares compostos por uma ou mais bicamadas lipídicas envolvendo um núcleo aquoso. Sua estrutura permite encapsular simultaneamente fármacos hidrofílicos e lipofílicos, além de apresentar elevada biocompatibilidade e baixa imunogenicidade. Modificações na superfície dos lipossomas, como a PEGuilação ou a conjugação com ligantes específicos, ampliam seu tempo de circulação sistêmica e favorecem o direcionamento a tecidos ou células-alvo. Diversos lipossomas já foram aprovados para uso clínico, reforçando sua relevância terapêutica (Joanitti *et al.*, 2022).

3.5 Nanopartículas Lipídicas Sólidas e Nanocarreadores Lipídicos

As nanopartículas lipídicas sólidas e os nanocarreadores lipídicos estruturados combinam vantagens dos sistemas poliméricos e lipossomais. Apresentam maior estabilidade física, proteção eficaz do fármaco e perfis de liberação controlados. Esses sistemas são amplamente utilizados para fármacos lipofílicos, além de aplicações em vacinas, terapias gênicas e administração por vias alternativas, como tópica e pulmonar (lopes *et al.*, 2023).

7

3.6 Nanopartículas Inorgânicas e Metálicas

Nanopartículas de ouro, prata, sílica e óxidos metálicos apresentam propriedades ópticas, magnéticas e catalíticas únicas. Além de atuarem como carreadores, podem exercer funções terapêuticas diretas, como atividade antimicrobiana ou aplicação em terapias fototérmica e fotodinâmica. Entretanto, a aplicação clínica desses sistemas exige avaliação criteriosa de toxicidade e biocompatibilidade a longo prazo (Veloso *et al.*, 2024).

3.7 Estratégias de Direcionamento aos Tecidos de Interesse

O direcionamento de fármacos por meio de nanossistemas pode ocorrer de forma passiva ou ativa. O direcionamento passivo explora características fisiopatológicas específicas, como o efeito de permeabilidade e retenção aumentada (EPR), observado principalmente em tecidos tumorais e inflamatórios. Já o direcionamento ativo envolve a funcionalização da superfície das nanopartículas com ligantes capazes de reconhecer receptores superexpressos em células-alvo.

Anticorpos, peptídeos, açúcares e aptâmeros são amplamente utilizados para aumentar a seletividade e a eficiência da internalização celular. Essas estratégias são fundamentais para superar barreiras biológicas complexas, como a barreira hematoencefálica, e para aumentar a eficácia terapêutica em doenças de difícil tratamento (De Aguiar Costa *et al.*, 2025).

3.8 Aplicações Terapêuticas da Nanotecnologia

A nanotecnologia tem aplicação consolidada em diversas áreas da terapêutica moderna. Na oncologia, nanossistemas são utilizados para reduzir a toxicidade de quimioterápicos, melhorar a eficácia e superar mecanismos de resistência tumoral. Em doenças infecciosas, a nanotecnologia possibilita a entrega eficiente de antibióticos em tecidos de difícil acesso e biofilmes, além de contribuir para estratégias de combate à resistência antimicrobiana. No campo das doenças neurodegenerativas, nanossistemas representam uma alternativa promissora para a entrega de fármacos ao sistema nervoso central. Outras aplicações incluem terapia gênica, vacinas, doenças inflamatórias crônicas e medicina regenerativa, evidenciando a ampla (De Sousa *et al.*, 2023).

3.9 Vantagens e Desafios da Nanotecnologia na Entrega de Fármacos

8

Entre as principais vantagens dos nanossistemas destacam-se o aumento da biodisponibilidade, a liberação controlada, a redução de efeitos adversos e a possibilidade de personalização terapêutica. Entretanto, desafios importantes ainda persistem, incluindo questões relacionadas à toxicidade, imunogenicidade, escalonamento industrial, padronização, reprodutibilidade e regulamentação. A complexidade estrutural desses sistemas exige métodos analíticos avançados e rigorosos controles de qualidade (Souza *et al.*, 2025).

3.10 Perspectivas Futuras

As perspectivas futuras da nanotecnologia na entrega de fármacos estão fortemente associadas ao avanço de novos materiais, estratégias de direcionamento mais precisas e integração com tecnologias emergentes, como inteligência artificial e medicina personalizada. A expectativa é que o aumento do número de nanofármacos aprovados para uso clínico consolide a nanotecnologia como um dos pilares centrais da terapêutica moderna (Menezes, 2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia consolidou-se como uma das abordagens mais inovadoras e promissoras no avanço dos sistemas de entrega de fármacos, oferecendo soluções eficazes para limitações históricas da farmacoterapia convencional. Ao possibilitar o controle refinado da biodistribuição, da estabilidade e da cinética de liberação de agentes terapêuticos, os nanossistemas representam uma mudança de paradigma na forma como os tratamentos farmacológicos são concebidos e administrados.

A entrega direcionada de fármacos aos tecidos de interesse destaca-se como um dos principais benefícios da aplicação da nanotecnologia na área da saúde. Essa estratégia permite maximizar a eficácia terapêutica no sítio-alvo, ao mesmo tempo em que minimiza a exposição sistêmica e os efeitos adversos associados, contribuindo para tratamentos mais seguros e mais bem tolerados pelos pacientes. Tal abordagem é particularmente relevante no contexto de doenças complexas e multifatoriais, como o câncer, infecções persistentes, doenças inflamatórias crônicas e distúrbios neurodegenerativos.

Além do impacto terapêutico direto, a nanotecnologia também amplia as possibilidades de reaproveitamento de fármacos já existentes, cuja aplicação clínica era limitada por problemas de toxicidade ou baixa biodisponibilidade. Dessa forma, os nanossistemas não apenas

9

impulsionam o desenvolvimento de novas terapias, mas também agregam valor a moléculas já conhecidas, reduzindo custos e tempo no processo de inovação farmacêutica.

Entretanto, apesar dos avanços significativos observados nas últimas décadas, a translação clínica dos sistemas nanotecnológicos ainda enfrenta desafios relevantes. Questões relacionadas à segurança a longo prazo, imunogenicidade, padronização dos processos de produção, escalonamento industrial e adequação às exigências regulatórias continuam sendo obstáculos importantes para a ampla adoção dessas tecnologias. A superação desses desafios exige esforços integrados entre pesquisadores, indústria farmacêutica e órgãos reguladores.

Nesse sentido, o fortalecimento da pesquisa translacional e o desenvolvimento de metodologias robustas de caracterização físico-química, biológica e toxicológica são fundamentais para garantir a reprodutibilidade, a eficácia e a segurança dos nanofármacos. Paralelamente, a harmonização de diretrizes regulatórias internacionais pode acelerar a aprovação e a incorporação dessas tecnologias na prática clínica.

Por fim, a integração da nanotecnologia com abordagens emergentes, como medicina personalizada, terapias combinadas, inteligência artificial e sistemas teranósticos, tende a

ampliar ainda mais o impacto da nanomedicina no cuidado à saúde. À medida que o conhecimento científico avança e os desafios são progressivamente superados, a nanotecnologia se consolida como um pilar estratégico para o desenvolvimento de terapias mais eficazes, seguras e direcionadas, contribuindo de forma decisiva para a medicina do futuro.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Bárbara Emília Ribeiro. Aplicações da nanotecnologia na ciência da saúde cosmecêutica. *Protocolos em Química*, v. 2, n. 4, p. 15-19, 2024.

BEZERRA, Thaynara Paula Warren et al. A nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de fármacos: revisão integrativa da literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e99111436115-e99111436115, 2022.

DE FARIAS, Lanna Karolline Alves et al. O uso de nanotecnologia na formulação de cosméticos. *Revista Saúde Multidisciplinar*, v. 14, n. 1, 2023.

DE SOUSA, Wanderson Fortes et al. Nanotecnologia como ferramenta farmacocinética para o tratamento de doenças neurológicas. *Revista Contemporânea*, v. 3, n. 07, p. 9008-9029, 2023.

DO NASCIMENTO, Lucas Mateus; DA SILVA, Ricardo Felipe Ferreira. Nanotecnologia aplicada a biomateriais em técnicas preventivas e restauradoras. *Revista Sociedade Científica*, v. 7, n. 1, p. 2326-2340, 2024

DE AGUIAR COSTA, Júlia et al. A nanotecnologia no tratamento de feridas em pacientes com Diabetes Mellitus. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 25, p. e19130-e19130, 2025..

FRANCO, Camila Santos et al. Nanotecnologia para direcionamento de substâncias ativas para o tratamento do câncer de mama: uma abordagem promissora. *Revista Atenas Higeia*, v. 7, n. 1, 2025.

JOANITTI, Graziella Anselmo; MORAIS, Paulo César de; AZEVEDO, Ricardo Bentes de. *Nanotecnologia: considerações em materiais, saúde e meio ambiente*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2022.

LOPES, Mirleide Dantas; RODRIGUES, César Teixeira. Nanociência e Nanotecnologia: uma análise documental a partir da BNCC. *Revista Física no Campus*, v. 3, n. 2, 2023.

MENEZES, Daniel Francisco Nagao; SAAVEDRA, Giovani Agostini. Aportes sobre a regulando da nanotecnologia na Europa e Estado Unidos. *Revista Direitos Culturais*, v. 17, n. 43, p. 147-161, 2022.

OLIVEIRA, Rafael Furlan de; MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; FAZZIO, Adalberto. A nanotecnologia na saúde: a nanotecnologia e os nanomateriais são elementos centrais para a inovação e solução de problemas na área da saúde. *Ciência e Cultura*, v. 74, n. 4, p. 01-10, 2022.

RAMIREZ, Iago et al. Associação entre Terapia Fotodinâmica antimicrobiana e Nanotecnologia: Revisão Sistemática e Meta-análise. *Archives of health Investigation*, v. 12, n. 1, p. 33-48, 2023.

SANFELICE, Rafaela C. et al. Introdução à nanotecnologia. São Paulo: Blucher, 2022.

SCATUZZI FILHO, Pedro et al. Aplicações da nanotecnologia na medicina regenerativa. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 7, p. 1823-1833, 2023.

SCHUSTER, Gustavo Regus et al. Nanotecnologia na medicina: avanços, aplicações e desafios na administração direcionada de medicamentos. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 25, p. e18998-e18998, 2025.

SOUZA, Renata Almeida et al. A NANOTECNOLOGIA DOS MEDICAMENTOS E O IMPACTO NOS NEUROTRANSMISSORES. *Revista Ifes Ciência*, v. 11, n. 1, p. 10-10, 2025.

VELOSO, Luciano Kaua Souza et al. Aplicações da nanotecnologia em embalagens inteligentes para alimentos. *LUMEN ET VIRTUS*, v. 15, n. 38, p. 1010-1021, 2024.