

Uso da Nanotecnologia no Controle de Microrganismos Patogênicos no Brasil

DOI: 10.5281/zenodo.14776152

Gabriel Castro e Silva^{a*}

The increase in drug-resistant pathogens has become a serious global public health issue, highlighting human vulnerability to new diseases and the urgent need for therapeutic alternatives. In this context, antimicrobial nanotechnology emerges as a promising solution in the fight against resistant microorganisms. Nanoscience, a field dedicated to the study of materials at the nanoscale, explores how the physical properties of compounds at such small sizes are altered, allowing their manipulation for specific applications. This scientific advancement represents one of the most innovative alternatives in areas such as public health and the pharmaceutical industry.

O aumento de patógenos resistentes a medicamentos tornou-se um grave problema de saúde pública global, evidenciando a vulnerabilidade humana diante de novas doenças e a necessidade urgente de alternativas terapêuticas. Nesse contexto, a nanotecnologia antimicrobiana surge como uma solução promissora no combate aos microrganismos resistentes. A nanociência, área dedicada ao estudo de materiais em escala nanométrica, explora como as propriedades físicas de compostos em tamanhos tão limitados são alterados, permitindo sua manipulação para aplicações específicas. Este avanço científico representa uma das alternativas mais inovadoras em áreas como saúde pública e indústria farmacêutica.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: Gabriel.cs018@gmail.com

Palavras-chave: Nanotecnologia; nanomateriais; antimicrobiana; fármacos.

Recebido em 27 de dezembro de 2024,

Aprovado em 15 de janeiro de 2025,

Publicado em 31 de janeiro de 2025.

Introdução

A nanotecnologia é o campo científico dedicado ao estudo e à manipulação de materiais com propriedades em escala nanométrica, ou seja, em dimensões da ordem de 1 bilionésimo de metro (10^{-9} m). Para fins de comparação, o tamanho de uma nanopartícula é aproximadamente 70.000 vezes menor do que o diâmetro de um fio de cabelo humano. Essas propriedades únicas, que emergem devido ao seu tamanho extremamente reduzido, possibilitam a criação de novos materiais e tecnologias com aplicações inovadoras em diversas áreas, como medicina, eletrônica e materiais avançados.¹

A ciência em menores escalas tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores. Essa área é amplamente reconhecida como transdisciplinar, integrando conhecimentos e técnicas de diferentes disciplinas para enfrentar desafios complexos e desenvolver soluções inovadoras, envolvendo químicos, físicos, biólogos, engenheiros e farmacêuticos, entre outros profissionais.²

Considerada uma nova fronteira do conhecimento, a nanociência, ou nanotecnologia, surpreende ao ter suas origens remontadas a tempos antigos. Evidências históricas indicam que, por volta de 4.000 a.C., práticas rudimentares relacionadas

a esse campo já eram empregadas por alquimistas, que tentavam desenvolver um "elixir de ouro", uma substância com propriedades de rejuvenescimento. Esse elixir continha nanopartículas de ouro em suspensão, embora os alquimistas da época não compreendessem plenamente a natureza nanométrica do material que utilizavam.³

Em 1959, durante o encontro anual da Sociedade Americana de Física, o físico Richard Feynman, laureado em 1965 com o Prêmio Nobel de Física, discursou sobre a possibilidade de se escrever toda a Encyclopédia Britânica na cabeça de um alfinete, durante sua palestra "*There's plenty of room at the bottom*" que foi traduzido como "Há muito espaço no fundo". O físico utilizou da ideia de um rearranjo atômico em escalas nanométricas para realizar tal feito, sendo considerado como o "Pai da Nanotecnologia", mesmo não sendo o precursor do termo que foi citado pela primeira vez pelo professor Norio Taniguchi da Universidade de Ciências de Tóquio, em 1974.²

Com o avanço de pesquisas e do uso de matérias nanométricas, diversas agências reguladoras definem nanomateriais com base em sua função, forma, carga, proporção da área superficial, volume ou outras propriedades físicas ou químicas. A International Organization for Standardisation (ISO), na ISO/TC 229, estabelece como

nanomaterial o material com qualquer dimensão externa ou estrutura interna e de superfície entre 1-100nm.⁴

O rápido crescimento na utilização de nanomateriais transformou diversos setores da indústria e da pesquisa. Estima-se que mais de 12 mil empresas em 53 países empreguem nanotecnologia em seus produtos, com um faturamento global que, em 2020, alcançou aproximadamente 3 trilhões de dólares americanos. Esse cenário destaca o papel estratégico da nanotecnologia na economia mundial.⁵ No Brasil, os investimentos públicos e privados têm impulsionado o desenvolvimento dessa área por meio da criação de programas, redes cooperativas de pesquisa e laboratórios de apoio em universidades, institutos de pesquisa e empresas. Desde 2001, iniciativas como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) têm promovido o avanço da nanotecnologia no país. Essas ações incluem o financiamento de projetos, a formação de recursos humanos especializados e o fortalecimento da infraestrutura para pesquisa e desenvolvimento, posicionando o Brasil no cenário global de inovação tecnológica.⁶

A nanociência é um campo de vasto alcance, marcado por inovações que, até recentemente, eram consideradas impossíveis. Suas aplicações têm revolucionado diversas áreas. No setor energético, por exemplo, o emprego de nanopartículas de grafeno tem demonstrado um aumento expressivo na eficiência de baterias de íon-lítio, enquanto na indústria têxtil essas partículas são utilizadas para criar tecidos com propriedades aprimoradas, como repelência à água e resistência a manchas. Já nas indústrias automotiva e aeroespacial, a adoção de nanofibras mais leves e resistentes tem impulsionado inovações que resultam em materiais mais duráveis e eficientes.^{7,8}

Além disso, essa nova tecnologia desempenha um papel crucial na preservação ambiental. Um exemplo notável de aplicação de nanomateriais no agronegócio é o biofertilizante Arbolina. Desenvolvido pela Krilltech, uma agtech brasileira fruto de uma parceria entre a Empresa brasileira de pesquisa e agropecuária (EMPRABA) e pesquisadores do Instituto de Química da Universidade de Brasília, a Arbolina é composta por nanopartículas bioestimulantes, biodegradáveis e atóxicas, resultando em produtividade e qualidade nutricional superiores.⁹

Nos últimos anos, essas áreas evoluíram de forma notável, especialmente com a intensificação do uso de

nanomateriais com propriedades antimicrobianas no tratamento de doenças. Esse avanço ganhou ainda mais relevância após a pandemia de COVID-19, que expôs fragilidades nos sistemas de saúde globais e ressaltou a ameaça crescente da resistência do corpo humano a medicamentos, como antibióticos e antivirais, resultantes do uso excessivo ou da má utilização dos mesmos.¹⁰ Essa imunidade surge quando os microrganismos sofrem mudanças que os tornam capazes de sobreviver aos efeitos dos fármacos. Tal fenômeno afeta as espécies patógenas e não os seres humanos. O uso inadequado dos tratamentos terapêuticos favorece um processo de seleção, no qual as espécies sensíveis são destruídas, enquanto as resistentes sobrevivem e se reproduzem, propagando essa característica.¹¹

Nesse contexto, destaca-se a importância de desenvolver novos medicamentos com mecanismos de ação diferentes dos usados atualmente. A nanotecnologia apresenta um enorme potencial para atender a essa demanda, trazendo inovações que podem superar as limitações dos tratamentos tradicionais, incluindo a resistência crescente aos medicamentos. Essa abordagem permite explorar soluções mais eficazes e personalizadas, representando um avanço significativo na busca por terapias mais eficientes.⁵

Metodologia

A elaboração deste artigo fundamenta-se em uma revisão detalhada da literatura, utilizando informações obtidas da revisão científica indicada como referência,⁵ além de uma extensa pesquisa em artigos científicos relacionados às atividades antimicrobianas de nanomateriais. A pesquisa foi realizada por meio de consulta às bases de dados científicos amplamente reconhecidas, como Google Scholar, utilizando uma combinação de palavras-chave específicas, incluindo “nanotecnologia”, “antimicrobianos”, e “microrganismos ultraresistentes”, com o propósito de identificar estudos recentes e relevantes para o tema proposto. Para atender ao objetivo proposto, também foram revisados artigos científicos disponíveis nas plataformas SciELO (Scientific Electronic Library Online).

Além disso, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática utilizando o Portal de Periódicos da CAPES como principal fonte de dados, com o objetivo de identificar publicações de autores brasileiros e estrangeiros relacionadas a nanomateriais e nanotecnologia no período de 1977 a 2024. Essa análise buscou mapear a evolução do interesse científico e a produção acadêmica nacional sobre o tema, além de

comparar quantitativamente e qualitativamente as contribuições brasileiras com aquelas provenientes de outros países. Os critérios de seleção incluíram palavras-chave relevantes, como "nanomateriais", "nanotecnologia" e termos correlatos, assegurando a inclusão de estudos significativos e representativos da área.

Resultados e discussão

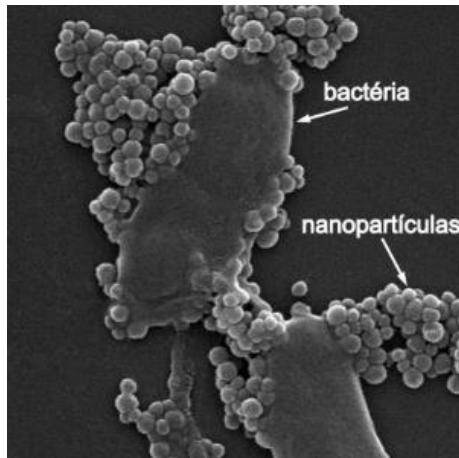
De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS/OMS), as bactérias e outros microrganismos resistentes a fármacos, conhecidos como ultraresistentes, comprometem a eficácia dos tratamentos disponíveis. Essa resistência eleva o risco de propagação de doenças, configurando uma ameaça crescente à saúde pública em escala global.¹²

A crescente preocupação com a higiene em tempos de pandemia, somada ao aumento alarmante de casos de microrganismos ultraresistentes, destaca a urgência na busca por novos compostos antimicrobianos eficazes. Esse desafio tem incentivado o desenvolvimento de soluções inovadoras em áreas como a nanotecnologia. Nessa abordagem, materiais em escala nanométrica, como metais (prata, ouro, cobre) e óxidos metálicos (óxido de zinco, dióxido de titânio), demonstraram grande potencial ao interagir com microrganismos patogênicos de diferentes formas.⁵ Essas interações acontecem pela destruição direta da membrana celular por meio de interações eletrostáticas com as superfícies bacterianas, promovendo a sua penetração e até a alteração ou fragmentação do DNA microbiano durante sua replicação, comprometendo a integridade liberando íons de metal que podem causar a lise de células.¹³

Uma outra utilização terapêutica das nanopartículas são as formadas por polímeros biodegradáveis. As nanopartículas poliméricas podem ser usadas para encapsular moléculas hidrofílicas ou hidrofóbicas de medicamentos, o que permite a liberação lenta e dosada da droga no local de ação, como mostrado na Figura 1, o que aumenta a eficácia do fármaco. Além disso, a alta relação entre área de superfície e volume característica dos nanomateriais possibilita uma maior concentração de agentes terapêuticos em sua estrutura. Essa propriedade favorece interações multivalentes, que podem gerar efeitos sinérgicos promissores, potencializando a eficácia dos tratamentos. Essa característica única amplia as possibilidades de aplicação dos nanomateriais em terapias avançadas, contribuindo para o desenvolvimento de

abordagens mais eficientes e direcionadas no combate a diversas doenças.¹³

Figura 1. Nanopartícula que transportam o antibiótico até o local de ação. Extraído da referência 14.



Suas propriedades físico-químicas têm sido amplamente exploradas, destacando-se o uso de nanopartículas metálicas como agentes antimicrobianos em medicina humana e veterinária, graças às suas características ópticas, eletrônicas e magnéticas. Por exemplo, a interação eletrostática entre nanopartículas e a superfície bacteriana, geralmente carregada negativamente, facilita sua aderência, penetração e consequente ruptura da membrana celular, resultando em efeitos como flocação bacteriana e diminuição da viabilidade microbiana.¹⁵

Esse vasto potencial da nanotecnologia para o desenvolvimento de produtos inovadores tem chamado a atenção de diversas empresas no país, que enxergam nessa área uma oportunidade estratégica de negócio. Ao investir em soluções nanotecnológicas, essas organizações buscam não apenas agregar maior valor aos seus produtos e serviços, mas também se posicionar de forma competitiva no mercado, explorando novas possibilidades e atendendo às crescentes demandas por inovação. A Tabela 1 apresenta uma seleção de empresas e seus respectivos produtos com finalidade antimicrobiana baseados no uso de nanopartículas. As informações foram coletadas a partir do artigo de referência, complementadas por consultas realizadas pelo autor nos sites oficiais dos fabricantes.⁵

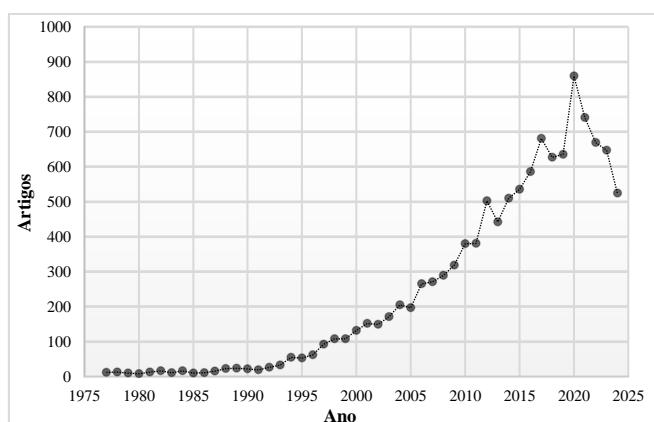
Tabela 1. Empresas e produtos que contêm em sua composição nanopartículas antimicrobianas. Adaptado da referência 5.

Empresas	Produtos
NANOX	Nanoadditivos (Bebedouros)
TNS Solution	Nanoadditivos (Polímeros, tintas)
Nanovetores Group	Nano e microencapsulação (Antissépticos, antifúngicos)
Podal Nano Cosméticos	Biotecnologia para cosméticos
Doce erva	Óleos essenciais para unhas
NanoScoping	Nanoinssumos veterinários
Nanoita	Revestimento de cerâmica
Innoma Innovative Materials	Nanoativos (Química fina e engenharia de materiais)
Nanowear Nanotecnologia	Produtos têxtil
Santista têxtil	Tecidos
WEG	Tomadas e interruptores
Suzano Petroquímica	Resina especial de polipropileno (Colchões, tábuas de carne)
Itabanyl Produtos Especiais (Ipel)	Papel Toalha
Laza Biotecnologia	Sanitizantes em aerossol
Promaflex	Manta adesiva antimofo
Equinox	Camiseta para controle da proliferação de bactérias
Insider Store	Camiseta e máscara antiviral e bactericida
Dublauto Gaúcha	Palmilha Sequinha

Além das grandes empresas e *startups*, é fundamental destacar o papel das universidades nas pesquisas e validações de novas aplicações de nanopartículas antimicrobianas. Dados do Portal de Periódicos da CAPES indicam que, entre os anos de 1977 e 2000, o Brasil publicou 760 artigos na área de nanotecnologia. Já entre 2001 e 2024, esse número saltou para 10.735 artigos, representando um aumento significativo de aproximadamente 1.312% durante o mesmo intervalo de 23 anos. Esse crescimento pode ser atribuído à evolução no

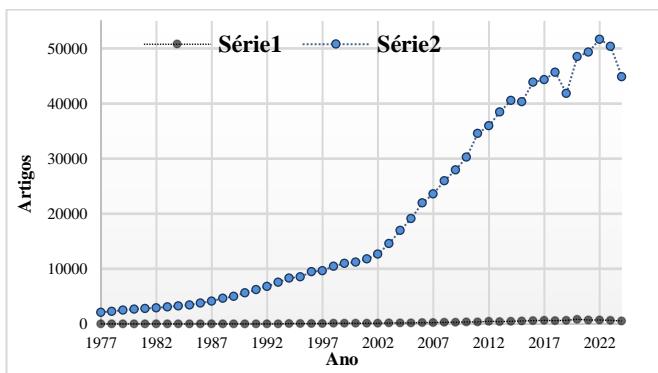
conhecimento e uso dos nanomateriais, bem como ao incentivo do CNPq e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, que passaram a apoiar mais intensamente pesquisas envolvendo nanopartículas a partir de 2001. O Gráfico 1 ilustra essa relação entre a quantidade de artigos publicados anualmente por autores brasileiros.

Gráfico 1. Artigos brasileiros publicados a cada ano sobre nanotecnologia. Feito pelo autor.



A comparação da produção científica em nanotecnologia entre autores brasileiros e internacionais revela uma diferença expressiva no volume de publicações, conforme ilustrado no Gráfico 2. Nesse gráfico, a Série 1 representa os artigos de autoria brasileira, enquanto a Série 2 refere-se às produções de autores do restante do mundo. De acordo com dados obtidos no Portal de Periódicos da CAPES, desde 1977 foram publicados 964.840 artigos sobre nanociência globalmente, dos quais apenas 1,2% são atribuídos a pesquisadores brasileiros. Esses dados reforçam a necessidade de estratégias que estimulem a produção científica nacional, como maior incentivo à pesquisa, fortalecimento das parcerias entre universidades e indústrias, além do aumento da participação em colaborações internacionais. Com o crescimento dessas iniciativas, o Brasil pode ampliar sua contribuição global na área da nanotecnologia e consolidar-se como um importante polo de inovação científica e tecnológica.

Gráfico 2. Comparação de publicações anuais de autores brasileiros e mundiais sobre nanotecnologia. Feito pelo autor.



Conclusões

A nanotecnologia possui um grande potencial para influenciar as interações fisiológicas, abrangendo desde o nível molecular até o sistêmico. Isso possibilita que a administração de medicamentos *in vivo* seja mais eficiente, melhorando a interação entre o fármaco e o patógeno. Por se tratar de uma ciência relativamente recente, ainda estão sendo estudadas diversas características físico-químicas dos nanomateriais. Nas últimas duas décadas, o interesse nacional pela nanotecnologia cresceu consideravelmente, refletido no aumento do número de empresas que exploram aplicações de materiais em escala nanométrica. Esse interesse não se limita ao setor farmacêutico, mas também abrange diversas outras indústrias que buscam soluções inovadoras, como o desenvolvimento de materiais antimicrobianos para o combate a patógenos resistentes.

Apesar do progresso na área, o crescimento da pesquisa nacional em nanotecnologia ainda é modesto quando comparado ao aumento de estudos realizados no restante do mundo. Essa disparidade reforça a necessidade de maior incentivo financeiro e educacional para instituições de ensino e pesquisa no Brasil. Investir na formação de pesquisadores, na infraestrutura laboratorial e no fortalecimento de colaborações internacionais é essencial para que o país acompanhe o avanço global e trate a nanotecnologia com a prioridade que ela merece, maximizando seu impacto em múltiplos setores industriais e na saúde pública.

Os nanomateriais antimicrobianos tem se mostrado uma excelente alternativa para tratar patógenos ultrarresistentes, devido aos seus ganhos em eficiência e custo

benefício. O crescimento acelerado de pesquisas nessa área nas últimas décadas destaca a importância da continuidade dos investimentos em inovação e desenvolvimento. É fundamental que se mantenham os esforços em pesquisa para explorar ainda mais as propriedades desses materiais, ampliando suas aplicações e potencializando sua utilização no combate a doenças. O avanço contínuo na nanotecnologia antimicrobiana pode transformar o tratamento de infecções, proporcionando soluções mais eficazes e acessíveis para a saúde global.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de algumas observações são de Gabriel Castro e Silva.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) por todo o apoio concedido através do Programa de Educação Tutorial. Agradeço também ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 MCTI, https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECNOLOGIA.html, (accessed 26 December 2024).
- 2 M. F. M. Fernandes and C. A. L. Filgueiras, Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macrodesafios), *Quím. Nova*, 2008, **31**, 2205–2213.
- 3 H. S. Ferreira and M. D. C. Rangel, Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise, *Quím. Nova*, 2009, **32**, 1860–1870.
- 4 ISO/TC 229 - Nanotechnologies, <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/>, (accessed 26 December 2024).
- 5 B. Dias, E. Ribeiro, R. Gonçalves, D. Oliveira, T. Ferreira and B. Silva, A NANOTECNOLOGIA NO

- BRASIL E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM ATIVIDADE ANTIMICROBIANA, Quím. Nova, 2021, **44**, 1084–1092.
- 6 A. P. Ferreira and L. S. Sant'Anna, A Nanotecnologia e a Questão da Sua Regulação no Brasil: Impactos à Saúde e ao Ambiente, *Rev UNIANDRADE*, 2015, **16**, 119–128.
- 7 N. Vigneshwaran, S. Kumar, A. A. Kathe, P. V. Varadarajan and V. Prasad, Functional finishing of cotton fabrics using zinc oxide–soluble starch nanocomposites, *Nanotechnology*, 2006, **17**, 5087–5095.
- 8 J. Zhu, D. Yang, Z. Yin, Q. Yan and H. Zhang, Graphene and Graphene-Based Materials for Energy Storage Applications, *Small*, 2014, **10**, 3480–3498.
- 9 Krilltech – Nanotecnologia Agro, <https://krilltech.com.br/>, (accessed January 7, 2025).
- 10 Antimicrobial resistance, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>, (accessed 27 December 2024).
- 11 Pesquisadora fala sobre a resistência causada pelo uso indiscriminado de antibióticos, <https://portal.fiocruz.br/noticia/pesquisadora-fala-sobre-resistencia-causada-pelo-uso-indiscriminado-de-antibioticos>, (accessed 8 January 2025).
- 12 Resistência antimicrobiana - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde, <https://www.paho.org/pt/topicos/resistencia-antimicrobiana>, (accessed 27 December 2024).
- 13 C. I. D. Almeida, G. C. ATAÍDE, J. J. CESAR and L. F. F. BACELAR, A UTILIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS NO COMBATE À RESISTÊNCIA BACTERIANA, *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research*, 2017, **19**, 125–132.
- 14 Cientista cria nanopartícula que transporta antibiótico pelo corpo, <https://www.uol.com.br/tilt/ultimas-noticias/redacao/2015/07/13/cientista-cria-nanoparticula-que-transporta-antibiotico-pelo-corpo.htm>, (acessado em 27 de dezembro de 2024).
- 15 C. Buzea, I. I. Pacheco and K. Robbie, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases*, 2007, **2**, MR17–MR71.