

NANOMATERIAIS EM SAÚDE: AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE DOENÇAS

Nicole Anita Brito Madurro¹;

¹Faculdade de Medicina (UFU), Uberlândia, MG.

<http://lattes.cnpq.br/3958847254720891>

Vinícius Ferreira Aratani².

²Hospital das Clínicas (UFU), Uberlândia, MG.

<http://lattes.cnpq.br/7670064880852298>

RESUMO: Uma abordagem emergente é o uso de nanomateriais, como nanopartículas magnéticas, nanopartículas de ouro, grafeno, nanotubos de carbono e pontos quânticos, dentre outros. Os nanomateriais apresentam dimensões de 1 nm a 100 nm e, apesar de possuírem pequena área superficial, são capazes de sofrer importantes modificações em sua superfície. Além disso, devido às suas dimensões reduzidas, proporcionam aumento do poder de penetração celular, tornando os tratamentos mais eficazes contra doenças, sendo também amplamente utilizados na construção de kits para diagnóstico de doenças. Métodos terapêuticos e diagnósticos podem ser invasivos, amplamente associados a efeitos colaterais severos e demorados, sendo este último um ponto importante, visto que, para muitas doenças, o tempo de espera pode ser um fator agravante do quadro clínico do paciente. Este capítulo aborda as propriedades e aplicações dos nanomateriais voltadas ao tratamento e diagnóstico de doenças, bem como sua toxicidade e importantes aplicações na medicina translacional.

Parte superior do formulário

PALAVRAS CHAVE: Nanotecnologia biomédica. Nanomateriais. Teranóstica.

NANOMATERIALS IN HEALTH: ADVANCES IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF DISEASES

ABSTRACT: An emerging approach is the use of nanomaterials, such as magnetic nanoparticles, gold nanoparticles, graphene, carbon nanotubes, and quantum dots, among others. Nanomaterials have dimensions ranging from 1 nm to 100 nm and, despite their small surface area, are capable of undergoing important surface modifications. Furthermore, due to their reduced dimensions, they provide increased cellular penetration, making treatments

more effective against diseases, while also being widely used in the development of diagnostic kits. Therapeutic and diagnostic methods can be invasive, frequently associated with severe side effects, and time-consuming. The latter is an important issue, since, for many diseases, waiting time may aggravate the patient's clinical condition. This chapter discusses the properties and applications of nanomaterials aimed at the treatment and diagnosis of diseases, as well as their toxicity and important applications in translational medicine.

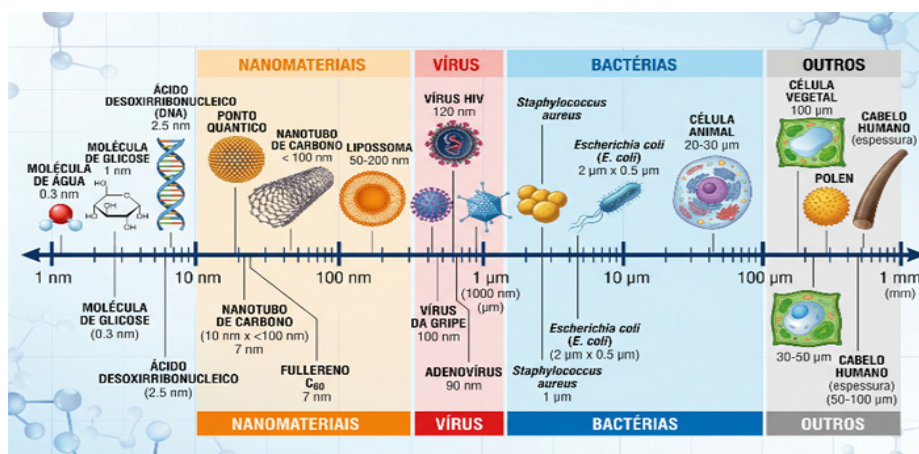
KEY-WORDS: Biomedical nanotechnology. Nanomaterials. Theranostics.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nanomateriais

Nanomateriais são materiais que apresentam pelo menos uma de suas dimensões na escala nanométrica, variando entre 1 e 100 nm (FIGURA 1). Devido às suas dimensões reduzidas, esses materiais exibem propriedades físico-químicas diferenciadas e frequentemente superiores às observadas em materiais em escala macrométrica. Entre essas propriedades destacam-se o aumento da área superficial, além de alterações nas características ópticas, magnéticas, elétricas e de cor, tornando os nanomateriais distintos de seus correspondentes em escala *bulk* (JOUDEH *et al.*, 2022, BAIG *et al.*, 2021).

Figura 1. Escala comparativa do tamanho dos nanomateriais.



Fonte: Adaptado de SALATA, 2004.

Nanomateriais possuem aplicações em diversas áreas, destacando-se a área da saúde, na qual podem ser empregados tanto no tratamento de doenças, especialmente no combate ao câncer, quanto no desenvolvimento de métodos diagnósticos rápidos, simples, sensíveis e de fácil acesso à população e aos pontos de cuidado em saúde (WANG *et al.*, MALIK *et al.* 2023).

A seguir, são descritos os principais nanomateriais, suas propriedades e suas aplicações no tratamento de doenças e no desenvolvimento de métodos diagnósticos.

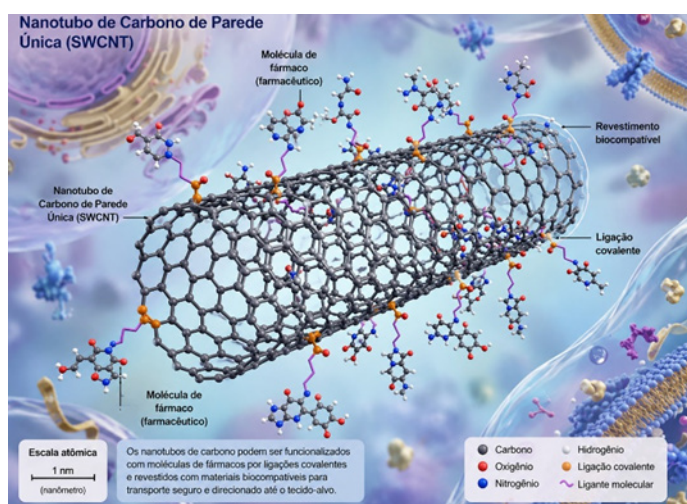
Nanotubos de carbono

Nanotubos de carbono são tubos cilíndricos constituídos por anéis hexagonais, podendo ser divididos em nanotubos de parede simples e nanotubos de paredes múltiplas. Possuem propriedades excepcionais, sendo materiais flexíveis, condutores ou semicondutores, podendo também ser funcionalizados para diversas aplicações (ELSAID *et al.*, 2022, BAIG *et al.*, 2021).

Amplamente utilizados no transporte e liberação controlada de fármacos, além do desenvolvimento de eletrodos impressos para aplicação em dispositivos biossensores (KUMAR *et al.*, 2026).

A utilização de nanotubos de carbono em sistemas de liberação de fármacos apresenta grande potencial terapêutico devido à capacidade desses nanomateriais de se ligarem a diferentes drogas e direcioná-las a tecidos-alvo específicos. Essa estratégia possibilita maior eficiência no tratamento, além de reduzir significativamente os efeitos colaterais indesejáveis, que frequentemente comprometem a adesão do paciente à terapia (THAKUR *et al.*, 2024). Nanotubos de carbono, devido a seu diminuto tamanho também pode atravessar a barreira hematoencefálica para tratamento de doenças neurológicas e tumores cerebrais (DAS *et al.* 2025).

Figura 2. Nanotubo de carbono e suas funcionalizações.



Fonte: Imagem adaptada de LIU *et al.*, 2009.

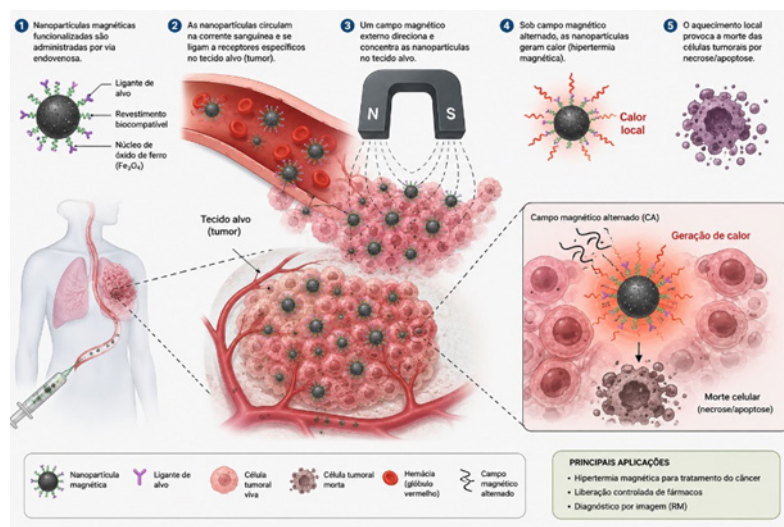
Há vários trabalhos na literatura que avaliam a toxicidade dos nanotubos para uso in vivo, por exemplo a toxicidade pulmonar e riscos biológicos associados aos nanotubos de carbono (HVEDOVA *et al.* 2005) e repostas inflamatórias e fibróticas induzidas por nanotubos

em pulmões de camundongos (DONALDSON, K. *et al.* 2006). O estudo demonstrou que a administração de SWCNTs provocou intensa inflamação pulmonar, formação de granulomas e desenvolvimento de fibrose intersticial, mesmo em baixas concentrações e apesar do grande potencial biomédico dos nanotubos de carbono, sua utilização *in vivo* requer criteriosa avaliação toxicológica, especialmente devido aos possíveis efeitos adversos respiratórios e ao risco de fibrose pulmonar, dentre outras complicações.

Nanopartículas magnéticas

As nanopartículas magnéticas, por exemplo de óxido de ferro apresentam grande potencial para aplicações em nanomedicina devido às suas propriedades magnéticas, elevada área superficial e possibilidade de funcionalização específica, podendo dessa forma serem direcionadas para tecidos específicos e por meio do campo magnético possam ser direcionadas para um tecido específico podendo ser promovido seu aquecimento com a morte de células tumorais (PANKHURST *et al.* 2003), **FIGURA 3**.

Figura 3. Direcionamento de nanopartículas magnéticas para tecidos alvo específicos



Fonte: criada pelo autor com software *Aca Draw*.

No artigo de Gupta e Gupta (2005) é descrita uma revisão abrangente sobre a síntese, modificação superficial e aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro. Os autores descrevem os principais métodos de obtenção dessas nanopartículas, destacando técnicas capazes de produzir materiais com tamanho controlado, elevada estabilidade e propriedades magnéticas adequadas para uso biológico. O artigo reforça a importância da funcionalização da superfície das nanopartículas, uma vez que o revestimento com, por exemplo, polímeros biocompatíveis, aumenta a biocompatibilidade,

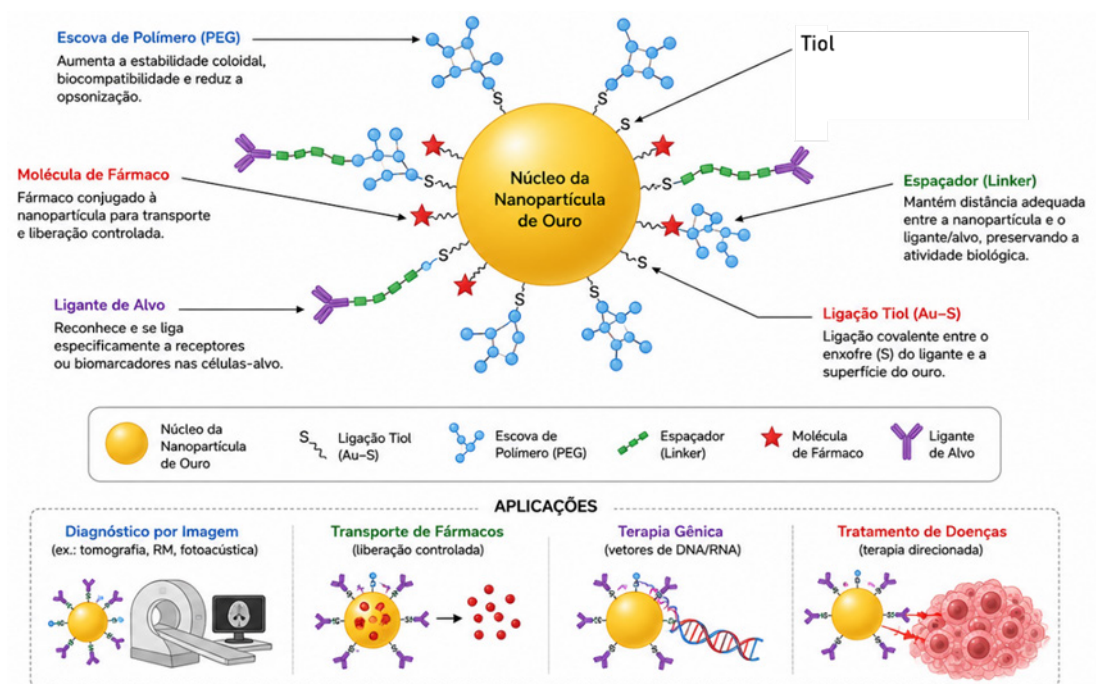
reduz a toxicidade e permite a funcionalização com ligantes específicos para direcionamento celular e tecidual.

Nanopartículas de ouro

Nanopartículas de ouro podem ser produzidas por rota química ou por rota verde e apresentam diferentes tamanhos, os quais influenciam a intensidade da cor. Isso ocorre devido ao efeito de ressonância de plasmons de superfície, proporcionado pela incidência da luz sobre as nanopartículas, fazendo com que seus elétrons vibrem e promovendo a deslocalização eletrônica (Eutis *et al.*, 2006).

As nanopartículas podem ser conjugadas com diferentes ligantes e biomoléculas, ampliando sua especificidade e funcionalidade, o que possibilita sua aplicação em diagnóstico por imagem, transporte e liberação controlada de fármacos, terapia gênica e tratamento direcionado de diversas doenças (DANIEL *et al.*, 2004). Por fim, esse trabalho de revisão evidencia o grande potencial das nanopartículas de ouro como plataformas multifuncionais para aplicações biomédicas e tecnológicas, devido à facilidade de funcionalização, elevada área superficial e propriedades físico-químicas diferenciadas e capacidade de agregação, alterando o tamanho e a mudança de cor (FIGURA 4).

Figura 4. Nanopartícula de ouro funcionalizada com diferentes ligantes e suas aplicações



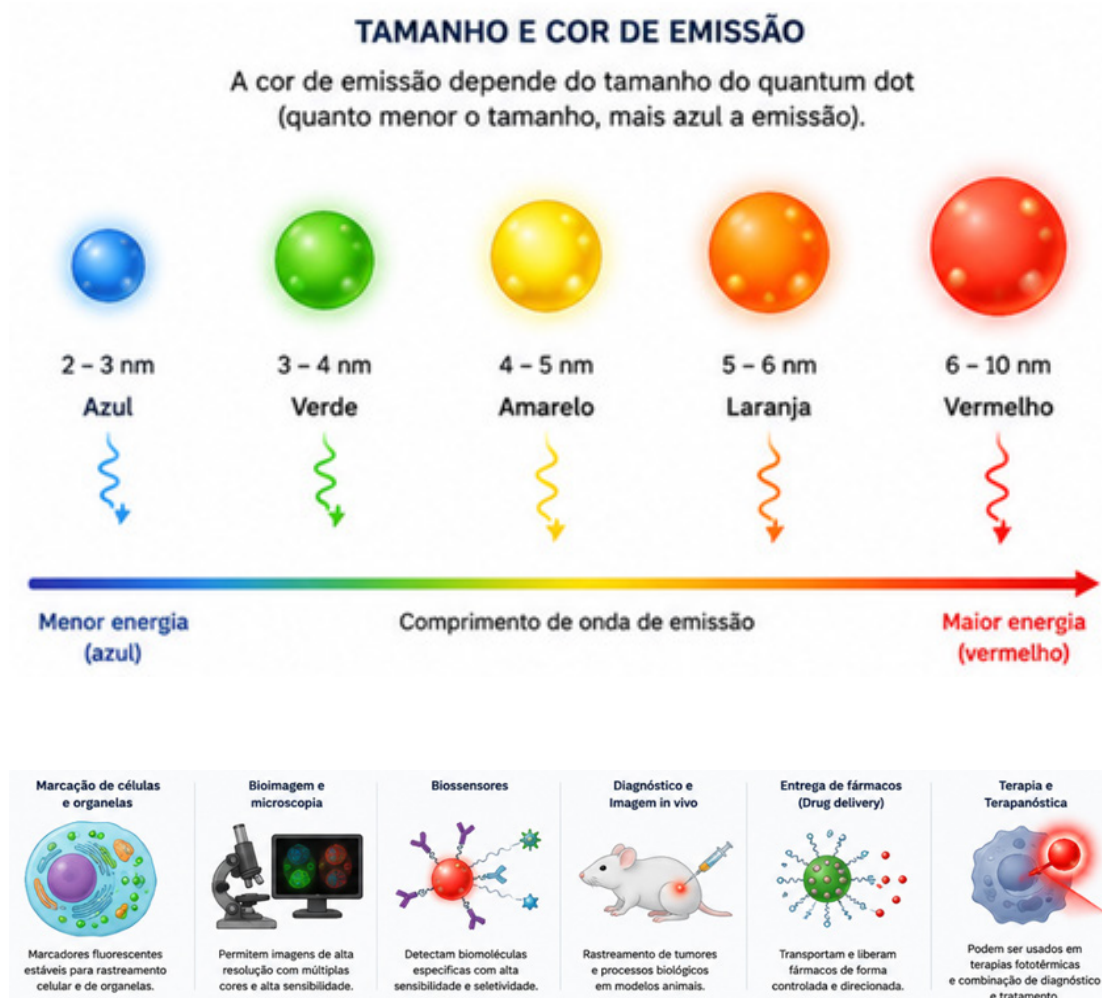
Fonte: criada com software *Aca Draw*.

Pontos quânticos

Pontos quânticos, ou *quantum dots*, são nanomateriais de dimensões extremamente pequenas, próximas à escala atômica, nos quais elétrons e buracos ficam confinados em um espaço reduzido, fazendo com que esses materiais exibam fluorescência. Devido ao confinamento quântico, os *quantum dots* apresentam diferentes cores de acordo com seu tamanho, mas é necessário expor os *quantum dots* a luz ultravioleta para que os mesmos exibam fluorescência.

A fluorescência dos *quantum dots* é superior à dos corantes convencionais, podendo ser utilizada para marcação celular, além de diversas outras aplicações na nanomedicina (RESCH-GENGER, U. *et al* 2008). Os *quantum dots* se destacam como uma alternativa promissora para diagnóstico por imagem, kits para diagnóstico de doenças, por exemplo biossensores, e marcação de células.

Figura 4. Características e aplicações dos quantum dots



Fonte: criada pelo autor usando software Aca Draw.

Apesar dessas importantes aplicações, os *quantum dots* apresentam potencial toxicidade, podendo induzir aumento na produção de espécies reativas de oxigênio e desencadear a liberação de fatores apoptóticos, resultando em danos celulares e morte celular programada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que os nanomateriais apresentam propriedades diferenciadas frente ao bulk, devido às suas propriedades, tais como elevada área superficial, propriedades ópticas, magnéticas e elétricas, além da possibilidade de funcionalização, eles se apresentam como uma excelente ferramenta para teranóstica.

Dentre os principais nanomateriais descritos neste capítulo, destacam-se os nanotubos de carbono, nanopartículas magnéticas, nanopartículas de ouro e pontos quânticos, com aplicações no transporte e liberação controlada de fármacos, diagnóstico por imagem, biossensores, terapia gênica e tratamento direcionado de doenças, especialmente o câncer.

Ainda, podemos considerar a utilização dos nanomateriais como agente antimicrobiano e antiviral.

Entretanto, apesar dos avanços e do grande potencial terapêutico, existem desafios importantes relacionados à toxicidade e biocompatibilidade que devem ser considerados.

REFERÊNCIAS

RESCH-GENGER, U. *et al.* **Quantum dots versus organic dyes as fluorescent labels.** *Nature Methods*, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 763–775, 2008. DOI: 10.1038/nmeth.1248.

EUSTIS, S.; EL-SAYED, M. A. **Why gold nanoparticles are more precious than pretty gold: noble metal surface plasmon resonance and its enhancement of the radiative and nonradiative properties of nanocrystals of different shapes.** *Chemical Society Reviews*, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 209–217, 2006. DOI: 10.1039/B514191E.

DANIEL, M.-C.; ASTRUC, D. **Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology.** *Chemical Reviews*, [s. l.], v. 104, n. 1, p. 293–346, 2004. DOI: 10.1021/cr030698+.

PANKHURST, Q. A. *et al.* **Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine.** *Journal of Physics D: Applied Physics*, [s. l.], v. 36, p. R167–R181, 2003. DOI: 10.1088/0022-3727/36/13/201.

GUPTA, A. K.; GUPTA, M. **Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications.** *Biomaterials*, [s. l.], v. 26, n. 18, p. 3995–4021, 2005. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2004.10.012.

SALATA, O. V. **Applications of nanoparticles in biology and medicine.** *Journal of Nanobiotechnology*, [s. l.], v. 2, n. 3, 2004. DOI: 10.1186/1477-3155-2-3.

HVEDOVA, A. A. *et al.* **Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice.** *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, [s. l.], v. 289, p. L698–L708, 2005.

DONALDSON, K. *et al.* **Carbon nanotubes: a review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety.** *Toxicological Sciences*, [s. l.], v. 92, n. 1, p. 5–22, 2006.

DAS, S. *et al.* Carbon nanotubes in brain targeted drug delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, [s. l.], 2025.

THAKUR, C. K. *et al.* **Ligand-conjugated multiwalled carbon nanotubes for targeted cancer drug delivery.** *Frontiers in Pharmacology*, [s. l.], 2024. DOI: 10.3389/fphar.2024.1417399.

LIU, Z. *et al.* Carbon nanotubes in biology and medicine: in vitro and in vivo detection, imag-

ing and drug delivery. *Nano Research*, [s. l.], v. 2, p. 85–120, 2009.

KUMAR, N. T. R. R.; DESAI, M.; SUNDAR, L. S. **A review of the latest developments and trends in biosensors based on carbon nanotubes for use in medical diagnosis.** *Biomedical & Pharmacology Journal*, [s. l.], v. 19, n. 2, 2026.

JOUDEH, N.; LINKA, K. **Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists.** *Journal of Nanobiotechnology*, [s. l.], v. 20, n. 262, 2022. DOI: 10.1186/s12951-022-01477-8.

BAIG, N. *et al.* **Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges.** *Materials Advances*, [s. l.], v. 2, p. 1821–1871, 2021. DOI: 10.1039/D0MA00807A.

ELSAID, K.; OLABI, A. G.; SADEK, S. **Recent progress in carbon nanotubes: synthesis, properties and applications.** *Materials Today Communications*, [s. l.], v. 33, p. 104602, 2022. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.104602.

DAI, H. **Carbon nanotubes: opportunities and challenges.** *Surface Science*, [s. l.], v. 500, n. 1–3, p. 218–241, 2002. DOI: 10.1016/S0039-6028(01)01558-8.

WANG, B. *et al.* **Current advance of nanotechnology in diagnosis and treatment for malignant tumors.** *Signal Transduction and Targeted Therapy*, [s. l.], v. 9, n. 200, 2024. DOI: 10.1038/s41392-024-01889-y.

MALIK, S. *et al.* **Emerging applications of nanotechnology in healthcare and medicine.** *Molecules*, [s. l.], v. 28, n. 18, p. 6624, 2023. DOI: 10.3390/molecules28186624.