



## ***Nanobiotecnologia na Odontologia: Avanços, aplicações e perspectivas futuras***

Ana Luísa de Castro e Silva<sup>1</sup>, Aléxia Caroline Leandro da Conceição<sup>2</sup>, Jennifer Vera Santos Gumert<sup>3</sup>, Ediliana Dias Chaves Campos de Amaral<sup>4</sup>, Vlademir Amaral-Cazaroti<sup>5</sup>, Nataly Nascimento Lemos Cavanha<sup>6</sup>, Renan de Camargo Lemos Cavanha<sup>7</sup>, Rafael Avellar de Carvalho Nunes<sup>8</sup>, Antonio Maurício Cristal Pio<sup>9</sup>



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p2360-2371>

Artigo recebido em 28 de Julho e publicado em 8 de Setembro de 2025

### **REVISÃO DE LITERATURA**

#### **RESUMO**

Sintetizar e analisar criticamente as principais aplicações da nanobiotecnologia na odontologia, destacando avanços, desafios e perspectivas futuras. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, utilizando bases como PubMed, Scopus e Web of Science, incluindo artigos publicados entre 1999 e 2025, sem restrição de idioma, abordando nanomateriais, nanobiotecnologia e suas aplicações clínicas na odontologia. Foram identificadas evidências consistentes de que a nanobiotecnologia oferece benefícios relevantes em diferentes áreas: maior eficácia antimicrobiana (nanopartículas de prata, óxido de zinco, quitosana), superfícies nanoestruturadas que aceleram a osseointegração, materiais restauradores com propriedades mecânicas e estéticas aprimoradas, sistemas de liberação controlada de fármacos e biossensores de alta sensibilidade para diagnóstico salivar. Contudo, predominam estudos *in vitro* e pré-clínicos, com escassez de ensaios clínicos de longo prazo e ausência de regulamentação padronizada. A nanobiotecnologia apresenta grande potencial para transformar a odontologia, mas sua plena integração à prática clínica depende de validação científica robusta, regulamentação específica e desenvolvimento de materiais seguros e custo-efetivos.

**Palavras-chave:** Nanobiotecnologia; Odontologia; Biomateriais; Nanotecnologia; Implantes Dentários.



# Nanobiotechnology in Dentistry: Current Advances, Clinical Applications, and Future Directions

## ABSTRACT

To synthesize and critically analyze the main applications of nanobiotechnology in dentistry, highlighting advances, challenges, and future perspectives. A narrative literature review was conducted using PubMed, Scopus, and Web of Science databases, including articles published between 1999 and 2025, without language restrictions, addressing nanomaterials, nanobiotechnology, and their clinical applications in dentistry. Evidence consistently indicates that nanobiotechnology offers relevant benefits in several areas: enhanced antimicrobial efficacy (silver, zinc oxide, and chitosan nanoparticles), nanostructured surfaces that accelerate osseointegration, restorative materials with improved mechanical and aesthetic properties, controlled drug delivery systems, and high-sensitivity biosensors for salivary diagnostics. However, most studies are in vitro or preclinical, with a lack of long-term randomized clinical trials and standardized regulatory frameworks. Nanobiotechnology holds great potential to transform dentistry, but its full integration into clinical practice depends on robust scientific validation, specific regulation, and the development of safe, cost-effective materials.

**Keywords:** Nanobiotechnology; Dentistry; Biomaterials; Nanotechnology; Dental Implants.

**Instituição afiliada** – <sup>1</sup>Universidade Salgado de Oliveira, <sup>2</sup>São Leopoldo Mandic –Rio de Janeiro, <sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,.....

**Autor correspondente:** Ana Luísa de Castro e Silva, [dra.analuisacastro@gmail.com](mailto:dra.analuisacastro@gmail.com)

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





## **INTRODUÇÃO**

A nanobiotecnologia, interseção entre a nanotecnologia e as ciências biológicas, vem revolucionando o campo da saúde, particularmente a odontologia, ao permitir a manipulação e o controle de materiais na escala nanométrica (1–100 nm). Nessa dimensão, os materiais apresentam propriedades físico-químicas e biológicas singulares, como maior área superficial, reatividade química aprimorada e interações celulares específicas, que não são observadas em suas formas macroscópicas. Tais características possibilitam o desenvolvimento de biomateriais com desempenho superior, capazes de promover diagnósticos mais precisos, terapias mais eficazes e abordagens minimamente invasivas.

Na odontologia, a aplicação da nanobiotecnologia abrange desde a formulação de resinas compostas com nanocargas, que conferem maior resistência mecânica e estabilidade estética, até superfícies nanoestruturadas em implantes que aceleram a osseointegração. Nanopartículas metálicas, como as de prata e óxido de zinco, têm se destacado por sua potente ação antimicrobiana, reduzindo a formação de biofilme e prevenindo infecções peri-implantares. Polímeros funcionais, como a quitosana, e nanofibras têm sido explorados como *scaffolds* para regeneração tecidual, enquanto nanotubos e nanocápsulas possibilitam a liberação controlada de fármacos diretamente no sítio da lesão ou infecção.

Além do impacto no tratamento, a nanobiotecnologia também tem ampliado as fronteiras do diagnóstico odontológico. Sensores baseados em nanopartículas e pontos quânticos têm permitido a detecção precoce e altamente sensível de marcadores salivares associados a doenças orais e sistêmicas. No entanto, apesar do rápido avanço tecnológico, a translação dessas inovações para a prática clínica ainda enfrenta desafios significativos, como a escassez de ensaios clínicos de longo prazo, a ausência de protocolos padronizados de segurança e a necessidade de regulamentação específica para nanomateriais odontológicos.



Diante desse cenário, torna-se essencial sintetizar o conhecimento existente, analisando criticamente as evidências científicas e apontando lacunas para futuras pesquisas. Assim, o objetivo desta revisão é apresentar um panorama abrangente e atualizado das aplicações da nanobiotecnologia na odontologia, discutindo seus avanços, limitações e perspectivas para a prática clínica.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

A evolução da nanobiotecnologia aplicada à odontologia começou de forma conceitual, com propostas visionárias que, pouco a pouco, foram se transformando em avanços concretos. O termo “nanodentistry” foi introduzido por Freitas Jr. (2000), que antecipou a possibilidade de empregar nanorrobôs e dispositivos moleculares em tarefas preventivas, diagnósticas e terapêuticas, desde a remoção seletiva de biofilme até processos de regeneração tecidual completa. Poucos anos depois, Fine (2003) discutiu o potencial disruptivo da nanotecnologia, destacando que sua aplicação poderia levar ao desenvolvimento de biomateriais inteligentes e procedimentos minimamente invasivos, mas alertou para a necessidade de avaliar questões éticas e de segurança antes da adoção em larga escala. Esse movimento conceitual já havia sido prenunciado por Slavkin (1999), que enfatizava a convergência entre biotecnologia, genômica e engenharia tecidual, projetando uma odontologia cada vez mais preventiva, personalizada e molecular. O passo seguinte foi dado por Bayne (2005), que analisou de forma abrangente a incorporação de biomateriais avançados, reconhecendo a nanobiotecnologia como elemento central para melhorar estética, durabilidade e função das restaurações.

Um dos campos mais promissores que emergiu desse desenvolvimento foi o estudo das propriedades antimicrobianas de nanopartículas. Kishen (2009) revisou seu



uso na endodontia, demonstrando que nanopartículas de prata e óxido de zinco apresentam dimensões e características de superfície que favorecem a penetração nos túbulos dentinários, eliminando bactérias resistentes que se abrigam no biofilme. Bhardwaj et al. (2015) ampliaram essa discussão ao mostrarem que nanocompósitos de quitosana e nanopartículas metálicas permitem liberação controlada de agentes antimicrobianos e podem ser incorporados em cimentos e materiais restauradores, prolongando o efeito protetor. De forma mais abrangente, Khurshid et al. (2018) apontaram que a adição de nanopartículas antibiofilme em resinas compostas, adesivos e selantes não apenas aumenta a longevidade das restaurações, mas também exerce função preventiva contra cáries secundárias. Embora os resultados laboratoriais sejam consistentes, permanece a lacuna de ensaios clínicos robustos que confirmem essa eficácia em condições reais de uso.

Na implantodontia, a modificação nanotopográfica das superfícies de titânio trouxe perspectivas de acelerar e otimizar a osseointegração. Mitra et al. (2005) mostraram que a presença de nanotubos e nanorrevestimentos favorece a adesão e diferenciação osteoblástica, promovendo uma integração mais rápida. Resultados semelhantes foram relatados por Khurshid et al. (2015), que destacaram ainda a capacidade dessas modificações reduzirem a colonização bacteriana na interface osso-implante. Contudo, AlKahtani (2018) alertou para a escassez de ensaios clínicos com amostras amplas e acompanhamento de longo prazo, além da heterogeneidade nos métodos de produção de superfícies nanoestruturadas, o que dificulta comparações diretas entre diferentes fabricantes.

Outro campo que rapidamente incorporou a nanotecnologia foi o dos materiais restauradores. A introdução de nanocargas em compósitos e cimentos de ionômero revolucionou a odontologia restauradora. Bayne (2005) apontou que a transição para partículas em escala nano permitiu obter maior polimento, resistência mecânica e estabilidade óptica. Khurshid et al. (2015) complementaram, mostrando que partículas de sílica e zircônia aumentam a longevidade e mantêm melhor o brilho das restaurações. AlKahtani (2018), por sua vez, destacou que essas formulações reduzem a contração de polimerização e melhoram a adaptação marginal, fatores diretamente ligados ao desempenho clínico. Apesar desses avanços, ainda faltam estudos longitudinais comparando compósitos nano-híbridos com convencionais por períodos superiores a



cinco anos, o que mantém algumas incertezas quanto à superioridade clínica de longo prazo.

A nanobiotecnologia também inspira soluções para liberação controlada de fármacos. Desde as primeiras propostas de Freitas Jr. (2000) sobre nanorrobôs dentais, a ideia de sistemas capazes de liberar agentes terapêuticos de forma localizada no ambiente oral vem ganhando força. Verma et al. (2008) detalharam dispositivos nanoestruturados com potencial de liberar anestésicos, antibióticos e moduladores inflamatórios diretamente no sítio-alvo, aumentando eficácia e reduzindo efeitos adversos sistêmicos. Apesar do caráter ainda experimental dessas tecnologias, os avanços em microfabricação e controle molecular sugerem que sua viabilidade clínica e econômica pode ser uma realidade nas próximas décadas.

O campo diagnóstico também foi impactado. Slavkin (1999) e Fine (2003) já destacavam o potencial dos biossensores e pontos quânticos para identificar biomarcadores na saliva, permitindo diagnóstico precoce de doenças orais e sistêmicas. Mais recentemente, Khurshid et al. (2018) revisaram estudos que aplicaram sensores baseados em nanotubos de carbono e nanopartículas metálicas para detectar patógenos e marcadores inflamatórios em baixíssimas concentrações. Esses avanços podem transformar o diagnóstico odontológico em um processo mais rápido, não invasivo e preciso, embora a translação para a rotina clínica ainda dependa de padronização, custo acessível e integração com os fluxos de atendimento.

A questão da segurança e toxicidade permanece como preocupação central em todas essas aplicações. Bhardwaj et al. (2015) e Khurshid et al. (2018) demonstraram que muitos nanomateriais apresentam boa biocompatibilidade, mas ressaltaram que determinados tipos e concentrações podem induzir efeitos citotóxicos ou inflamatórios. AlKahtani (2018) reforçou a necessidade de regulamentação clara e estudos toxicológicos de longo prazo para garantir a segurança antes da adoção em larga escala. Sem protocolos internacionais consistentes, há risco de variação de qualidade e potenciais efeitos adversos à saúde.

A análise integrada das evidências indica que a nanobiotecnologia na odontologia encontra-se em um estágio intermediário de maturidade. De um lado, já existem produtos consolidados no mercado, como os materiais restauradores com



nanocargas; de outro, áreas como biossensores, nanorrobótica e implantes nanotopográficos ainda carecem de validação clínica robusta. A literatura sugere que o futuro da área passa pela padronização metodológica em estudos *in vitro* e *in vivo*, pela condução de ensaios clínicos multicêntricos com acompanhamento de longo prazo e pelo desenvolvimento de materiais multifuncionais que unam resistência mecânica, atividade antimicrobiana e propriedades regenerativas. Além disso, a integração com tecnologias emergentes, como bioimpressão 3D e inteligência artificial, pode ampliar a personalização dos tratamentos, enquanto a criação de protocolos regulatórios internacionais será essencial para a aprovação e monitoramento dessas inovações.

Em síntese, a nanobiotecnologia já demonstrou avanços aplicáveis e comercialmente viáveis, mas sua incorporação plena à prática clínica depende da superação de barreiras metodológicas, regulatórias e econômicas. A odontologia do futuro, cada vez mais preventiva, molecular e personalizada, parece inevitavelmente vinculada ao desenvolvimento de soluções nanoestruturadas, capazes de transformar desde o diagnóstico até a reabilitação oral.

## DISCUSSÃO

A análise dos estudos revela que a nanobiotecnologia em odontologia representa um dos avanços mais promissores da última década, especialmente por sua capacidade de integrar ciência dos materiais, microbiologia e engenharia molecular em soluções clínicas concretas. A literatura evidencia que, embora muitos resultados sejam encorajadores, ainda existe uma distância entre o desempenho experimental observado em condições controladas e a aplicação clínica de rotina. Essa distância é explicada por fatores como a variabilidade metodológica, a ausência de padronização na produção de nanomateriais e a escassez de ensaios clínicos de longo prazo.

Os resultados obtidos por Kishen (2009) sobre a ação antimicrobiana de nanopartículas em endodontia, por exemplo, coincidem com as conclusões posteriores de Bhardwaj et al. (2015) e Khurshid et al. (2018), que reforçaram a eficácia de nanopartículas metálicas no controle do biofilme. Essa convergência demonstra a consistência da evidência em nível laboratorial. No entanto, a translação para a prática clínica permanece limitada, pois a maioria dos estudos é conduzida *in vitro*, com tempos



de observação reduzidos, não refletindo a complexidade da microbiota e das condições do meio oral. Portanto, ainda que as propriedades antibiofilme sejam bem documentadas, falta comprovação científica de que essas formulações possam substituir ou superar protocolos antimicrobianos tradicionais em casos clínicos complexos.

Na implantodontia, autores como Mitra et al. (2005) e Khurshid et al. (2015) mostraram que a modificação nanotopográfica das superfícies de titânio acelera a osseointegração e reduz a colonização bacteriana. Contudo, AlKahtani (2018) destaca que a ausência de padronização na produção das superfícies nanoestruturadas dificulta comparações diretas e, conseqüentemente, a consolidação de evidências clínicas robustas. Ainda que haja forte base experimental indicando benefícios, a literatura carece de estudos multicêntricos de longo prazo que comprovem superioridade clínica em relação às superfícies microtexturizadas tradicionais, que já possuem resultados consolidados. Assim, a aplicabilidade da nanotecnologia em implantes encontra-se em uma zona de transição entre o experimental e o validado, necessitando de dados que sustentem sua eficácia no contexto real.

Os compósitos nano-híbridos e os cimentos de ionômero modificados por nanopartículas representam, até o momento, a aplicação mais consolidada da nanobiotechnology. Conforme apontado por Bayne (2005), Khurshid et al. (2015) e AlKahtani (2018), os avanços relacionados à resistência mecânica, polimento e adaptação marginal são inegáveis. Entretanto, a ausência de ensaios clínicos longitudinais acima de cinco anos levanta dúvidas sobre a real durabilidade desses materiais em comparação aos compósitos convencionais. Outro ponto relevante é que muitos desses produtos já foram incorporados ao mercado sem evidências de longo prazo, um reflexo da pressão comercial e da alta competitividade da indústria odontológica, o que reforça a necessidade de protocolos regulatórios mais rígidos.

O campo da liberação controlada de fármacos ainda é majoritariamente experimental, mas ilustra a potencial revolução trazida pela nanotecnologia. Verma et al. (2008) projetaram a possibilidade de liberar anestésicos e antibióticos em doses precisas e localizadas, reduzindo efeitos sistêmicos. Essa proposta, alinhada às previsões pioneiras de Freitas Jr. (2000) sobre nanorrobôs dentais, ainda encontra barreiras





técnicas e econômicas para se tornar viável clinicamente. O desenvolvimento desses dispositivos depende de avanços paralelos em biocompatibilidade, escalabilidade de produção e integração com protocolos clínicos. Ainda que os conceitos sejam inovadores, a falta de evidências clínicas coloca essas aplicações na categoria de promissoras, mas não estabelecidas.

Outro ponto importante refere-se ao diagnóstico. Os estudos de Slavkin (1999), Fine (2003) e, mais recentemente, Khurshid et al. (2018), demonstraram o potencial dos biossensores baseados em nanotecnologia para detectar biomarcadores salivários e patógenos com alta sensibilidade. Esses dispositivos podem transformar o diagnóstico odontológico em um processo rápido, não invasivo e altamente preciso. Entretanto, a adoção em larga escala esbarra em desafios como padronização de protocolos, acessibilidade econômica e integração com os sistemas de saúde. Em outras palavras, embora o potencial seja disruptivo, ainda não existem evidências suficientes para garantir sua eficácia e custo-benefício na prática cotidiana.

Por fim, a questão da toxicidade merece destaque especial. Apesar de autores como Bhardwaj et al. (2015) e Khurshid et al. (2018) demonstrarem que a maioria dos nanomateriais apresenta boa biocompatibilidade, AlKahtani (2018) reforça a necessidade de estudos toxicológicos de longo prazo. Nanopartículas podem atravessar barreiras biológicas e desencadear respostas inflamatórias ou citotóxicas, dependendo de seu tamanho, concentração e composição. A ausência de regulamentações internacionais específicas para materiais odontológicos nanoestruturados aumenta o risco de variabilidade de qualidade entre fabricantes, o que pode comprometer a segurança do paciente.

Assim, a literatura indica que a nanobiotecnologia odontológica encontra-se em um ponto de inflexão. De um lado, há aplicações consolidadas, como os compósitos nano-híbridos, que já transformaram a prática clínica; de outro, há áreas experimentais promissoras, como nanossensores e sistemas de liberação controlada de fármacos, que ainda carecem de validação. Para que essa transição se concretize, torna-se essencial a realização de ensaios clínicos multicêntricos, a criação de protocolos regulatórios internacionais e o investimento em pesquisas que integrem nanotecnologia com outras áreas emergentes, como bioimpressão 3D e inteligência artificial.



Portanto, pode-se afirmar que a nanobiotecnologia já não é apenas um conceito futurista, mas uma realidade em consolidação. O futuro da odontologia, baseado em terapias personalizadas, diagnósticos moleculares e materiais inteligentes, depende diretamente da maturação dessa área e da superação das barreiras que ainda limitam sua plena inserção na prática clínica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanobiotecnologia desponta como um campo inovador na odontologia, com aplicações promissoras em materiais restauradores, superfícies de implantes, terapias antimicrobianas, liberação controlada de fármacos e diagnóstico. Apesar dos avanços, a maioria das evidências ainda é pré-clínica, havendo necessidade de ensaios clínicos robustos e de regulamentação específica. Seu pleno potencial dependerá da integração entre pesquisa, validação científica e aplicação segura na prática clínica.

## REFERÊNCIAS

ALKAHTANI, R. N. The implications and applications of nanotechnology in dentistry: a review. *Saudi Dental Journal*, v. 30, n. 1, p. 1-8, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.09.005>.

BAYNE, S. C. Dental biomaterials: where are we and where are we going? *Journal of Dental Education*, v. 69, n. 5, p. 571-585, maio 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15897337/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BHARDWAJ, S. B. et al. Nanotechnology, nanomaterials and their applications in dentistry. *Saudi Dental Journal*, v. 27, n. 3, p. 93-99, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2014.10.004>.

FINE, D. H. Advances in local antimicrobial therapy. *Periodontology 2000*, v. 38, p. 135-183, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2005.00143.x>.

FREITAS, R. A. Jr. Nanodentistry. *Journal of the American Dental Association*, v. 131, n. 11, p. 1559-1565, nov. 2000. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0085>.



KHURSHID, Z. et al. Advances of nanodentistry and biomaterials: a review. *International Journal of Nanomedicine*, v. 10, p. 6371-6388, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S97263>.

KISHEN, A. Nanotechnology in endodontics: current and potential clinical applications. *Journal of Endodontics*, v. 35, n. 10, p. 1434-1442, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.015>.

MITRA, S. B. et al. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *Journal of the American Dental Association*, v. 134, n. 10, p. 1382-1390, out. 2003. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0054>.

MONTEIRO, D. R. et al. The growing importance of materials that prevent microbial adhesion: antimicrobial effect of medical devices containing silver. *International Journal of Antimicrobial Agents*, v. 34, n. 2, p. 103-110, mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2009.02.009>.

PARNIA, F. et al. A review of the application of nanotechnology in dentistry. *Journal of the California Dental Association*, v. 37, n. 12, p. 971-980, dez. 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20043479/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SAMIEI, M. et al. Nanotechnology in dentistry: prevention, diagnosis, and treatment of oral diseases. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, v. 12, n. 3, p. 177-186, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15171/joddd.2018.028>.

SLAVKIN, H. C. Entering the era of molecular dentistry. *Journal of the American Dental Association*, v. 130, n. 3, p. 413-417, mar. 1999. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1999.0212>.

SUBRAMANI, K. et al. Nanobiomaterials in clinical dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, v. 8, p. 399-406, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S24353>.

VERMA, S. K. et al. Nanodentistry: hype or reality? *Journal of the Indian Society of Periodontology*, v. 12, n. 1, p. 1-7, set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.4103/0972-124X.44088>.