



Do macro ao nano: Evolução dos materiais restauradores na odontologia moderna

Autor(res)

Iris Durães Costa Amaral Machado
Sergio Bernardo Silva De Almeida
Filipe Willian Dos Santos Silva
Yasmin Almeida Barros Dos Santos
Arthur Carvalho Valois Marinho
William Dos Santos Rocha

Categoria do Trabalho

Trabalho Acadêmico

Instituição

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIRUY WYDEN

Introdução

A odontologia restauradora tem experimentado uma evolução expressiva nas últimas décadas, impulsionada pelo avanço da ciência dos materiais, da biologia oral e das tecnologias aplicadas à prática clínica. Historicamente, os materiais restauradores foram desenvolvidos com foco predominante em propriedades mecânicas, atuando como substitutos passivos da estrutura dentária perdida, sem interação significativa com o meio biológico. Nesse contexto, materiais como o amálgama foram amplamente utilizados devido à sua elevada resistência e durabilidade clínica; entretanto, apresentavam limitações relevantes, como estética insatisfatória, ausência de adesão ao substrato dental e potencial para infiltração marginal, fatores que comprometem a longevidade das restaurações e favorecem a recorrência de lesões cáries (ALAMOUDI et al., 2025; FERRACANE, 2011).

Com o desenvolvimento das resinas compostas, ocorreu uma mudança significativa no paradigma restaurador, possibilitando não apenas melhorias estéticas, mas também a introdução da adesão aos tecidos dentários. Essa evolução permitiu abordagens mais conservadoras, alinhadas aos princípios da odontologia minimamente invasiva, reduzindo a remoção desnecessária de estrutura dental sadia. Entretanto, apesar dos avanços, as resinas compostas ainda apresentam limitações clínicas importantes, como a contração de polimerização, que pode gerar tensões internas e comprometer a integridade marginal das restaurações. Além disso, a degradação progressiva da interface adesiva ao longo do tempo, especialmente na dentina, representa um dos principais fatores associados à falha restauradora, favorecendo infiltração, desadaptação marginal e desenvolvimento de cárie secundária (HARDAN et al., 2022; FERRACANE, 2011).

A interface dente-restauração, especialmente em substrato dentinário, constitui um dos pontos mais críticos para o sucesso clínico, devido à sua complexidade estrutural, composição orgânica e presença de umidade, fatores que dificultam a obtenção de uma adesão estável ao longo do tempo. A formação da camada híbrida, embora essencial para a adesão, está sujeita à degradação hidrolítica e enzimática, o que compromete a durabilidade das



restaurações. Dessa forma, estratégias que visam melhorar a qualidade da adesão e reduzir a degradação da interface têm sido amplamente investigadas, incluindo modificações nos sistemas adesivos e nos próprios materiais restauradores (CARDOSO et al., 2024).

Nesse cenário, destaca-se a abordagem biomimética, que busca reproduzir as propriedades estruturais, mecânicas e funcionais do tecido dentário natural, promovendo uma integração mais harmoniosa entre o material restaurador e o dente. Essa filosofia clínica prioriza a preservação máxima da estrutura dental, o controle das tensões geradas durante a polimerização e a reconstrução funcional do elemento dental, contribuindo para maior longevidade das restaurações e melhor desempenho clínico (PEREIRA et al., 2026).

Sob a perspectiva biomecânica, a abordagem biomimética fundamenta-se na tentativa de reproduzir não apenas a forma, mas também o comportamento funcional dos tecidos dentários, especialmente no que se refere à dissipação de tensões e à compatibilidade do módulo de elasticidade entre material restaurador e estrutura dental. Nesse contexto, técnicas restauradoras que priorizam a estratificação incremental e o controle do fator C (fator de configuração cavitária) tornam-se essenciais para minimizar os efeitos da contração de polimerização e preservar a integridade da interface adesiva. Dessa forma, a biomimética ultrapassa o conceito estético, assumindo papel central na longevidade funcional das restaurações (FERRACANE, 2011; 2024).

Diante das limitações dos materiais convencionais, a pesquisa científica tem direcionado esforços para o desenvolvimento de materiais restauradores mais avançados, capazes de interagir ativamente com o ambiente bucal. Nesse contexto, destacam-se os materiais bioativos, que apresentam a capacidade de liberar íons, como cálcio e fosfato, contribuindo para processos de remineralização e promovendo uma interface mais estável entre o material restaurador e o tecido dental. Essa interação biológica representa um avanço relevante na odontologia restauradora contemporânea, ampliando a função dos materiais, que passam a atuar não apenas na reabilitação estrutural, mas também na prevenção de falhas clínicas e na manutenção da saúde bucal (CROCOMO et al., 2022; ALAMOUDI et al., 2025).

Além da capacidade remineralizante, os materiais bioativos também têm sido associados à modulação do biofilme oral, reduzindo a atividade bacteriana e contribuindo para um ambiente menos favorável ao desenvolvimento de cárie secundária. Esse aspecto é particularmente relevante em pacientes com alto risco cariogênico, nos quais a longevidade das restaurações depende diretamente da interação entre material restaurador, substrato dental e microbiota oral (CROCOMO et al., 2022; ALAMOUDI et al., 2025).

Paralelamente, a incorporação da nanotecnologia tem desempenhado papel fundamental na evolução dos materiais restauradores. A utilização de nanopartículas permite a obtenção de materiais com melhor distribuição de carga, maior resistência ao desgaste e propriedades ópticas superiores, favorecendo resultados estéticos mais naturais e duradouros. Além disso, os materiais nanoestruturados apresentam melhor adaptação à estrutura dental e maior estabilidade físico-química ao longo do tempo, características que contribuem significativamente para o desempenho clínico (DE OLIVEIRA et al., 2020; MORAES et al., 2021).

Outro aspecto relevante refere-se à crescente integração de tecnologias digitais na odontologia restauradora. Sistemas como CAD/CAM e impressão tridimensional têm possibilitado maior precisão na confecção de restaurações, reduzindo erros clínicos e aumentando a previsibilidade dos tratamentos. Essas tecnologias



permitem a produção de restaurações altamente personalizadas, com melhor adaptação marginal, desempenho funcional e otimização do tempo clínico (FIORIM et al., 2025).

Adicionalmente, observa-se o desenvolvimento de materiais restauradores inteligentes, capazes de responder a estímulos do ambiente bucal, como variações de pH e presença de biofilme. Esses materiais representam uma nova fronteira na odontologia restauradora, pois combinam propriedades mecânicas, biológicas e tecnológicas, ampliando as possibilidades terapêuticas e promovendo uma abordagem mais integrada e preventiva (ALAMOUDI et al., 2025).

Apesar dos avanços descritos, ainda não há consenso na literatura quanto à previsibilidade clínica e à longevidade dos materiais restauradores contemporâneos, especialmente no que se refere à estabilidade da interface adesiva e ao comportamento em longo prazo dos materiais bioativos e nanoestruturados (HARDAN et al., 2022; ALAMOUDI et al., 2025). Além disso, observa-se uma lacuna no entendimento da real eficácia da abordagem biomimética na prática clínica diária, uma vez que muitos dos resultados positivos são provenientes de estudos laboratoriais, com limitada validação clínica longitudinal (FERRACANE, 2024; PEREIRA et al., 2026).

Dessa forma, a evolução dos materiais restauradores apresenta uma transição progressiva do macro ao nano, caracterizada pela incorporação de avanços científicos e tecnológicos que visam não apenas restaurar a estrutura dental, mas também interagir com o meio biológico, promover saúde e aumentar a longevidade das restaurações. Essa transformação reflete a consolidação de uma odontologia moderna, baseada em evidências científicas, princípios biomiméticos e abordagens minimamente invasivas. Assim, o presente estudo tem como objetivo apresentar e discutir criticamente a eficácia das abordagens contemporâneas, com ênfase na biomimética e nos materiais bioativos, no desempenho clínico restaurador.

Objetivo

Apresentar e discutir, por meio de revisão da literatura científica, a evolução dos materiais restauradores na odontologia moderna, com ênfase na transição dos sistemas convencionais para materiais bioativos e nanoestruturados. Busca-se compreender as principais propriedades físico-químicas, o comportamento clínico e a interação desses materiais com os tecidos dentários, bem como sua influência na longevidade das restaurações. Além disso, pretende-se discutir criticamente o impacto das inovações tecnológicas e da abordagem biomimética na prática restauradora contemporânea, correlacionando evidências laboratoriais e clínicas.

Material e Métodos

Este estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de natureza qualitativa, descritiva e exploratória, desenvolvida com o objetivo de analisar de forma abrangente a evolução dos materiais restauradores na odontologia moderna, com ênfase na transição dos sistemas convencionais para materiais bioativos e nanoestruturados. A construção desta revisão foi fundamentada em uma busca sistematizada de artigos científicos indexados em bases de dados reconhecidas internacionalmente, incluindo PubMed, SciELO e Google Acadêmico, assegurando a confiabilidade, relevância e atualidade das informações selecionadas.

A estratégia de busca foi estruturada a partir da definição de descritores controlados e não controlados, selecionados com base nos termos indexados na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS/DeCS). Foram utilizados os descritores “materiais dentários”, “resinas compostas” e “nanotecnologia”, combinados por meio de operadores



booleanos (AND e OR), visando ampliar a sensibilidade e especificidade da busca. Adicionalmente, foram utilizados termos equivalentes em língua inglesa, como “dental materials”, “composite resins” e “nanotechnology”, ampliando a abrangência da busca em bases internacionais.

Foram priorizados artigos publicados entre 2020 e 2025, sem excluir estudos clássicos fundamentais, como Ferracane (2011), permitindo a integração entre fundamentos consolidados e avanços contemporâneos. Os critérios de inclusão contemplaram estudos relevantes sobre propriedades, desempenho clínico, bioatividade e tecnologias associadas. Foram excluídos trabalhos com baixo rigor metodológico, dados incompletos ou sem relação direta com o tema.

A seleção dos estudos ocorreu por leitura de títulos, resumos e textos completos, seguida de análise crítica e categorização temática. A síntese dos dados foi conduzida de forma qualitativa, permitindo uma interpretação integrada das evidências disponíveis.

Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados evidencia que a evolução dos materiais restauradores na odontologia não se limita a um avanço linear de propriedades mecânicas, mas reflete uma mudança paradigmática no entendimento da função desses materiais, que passam de substitutos inertes a sistemas potencialmente interativos com o meio biológico. Nesse contexto, materiais tradicionais, como o amálgama, embora reconhecidos por sua durabilidade clínica, demonstram limitações estruturais importantes, especialmente pela ausência de adesão ao substrato dental, o que impõe a necessidade de preparos cavitários mais invasivos e favorece a infiltração marginal (ALAMOUDI et al., 2025).

A introdução das resinas compostas representou um marco na odontologia restauradora, sobretudo pela incorporação dos princípios adesivos e pela possibilidade de abordagens mais conservadoras. No entanto, a literatura é consistente ao apontar que tais materiais ainda apresentam limitações significativas, especialmente no que se refere à contração de polimerização e à instabilidade da interface adesiva. Estudos como os de HARDAN et al. (2022) e FERRACANE (2011) demonstram que, apesar das melhorias nas formulações, esses fenômenos continuam sendo determinantes na falha restauradora, sugerindo que os avanços tecnológicos ainda não foram suficientes para superar completamente essas limitações.

A interface adesiva em dentina permanece como um dos principais desafios da odontologia restauradora contemporânea. A degradação da camada híbrida, decorrente de processos hidrolíticos e enzimáticos, evidencia uma fragilidade intrínseca dos sistemas adesivos atuais. CARDOSO et al. (2024) destacam que, mesmo com o desenvolvimento de novos adesivos, a durabilidade dessa interface ainda é limitada, o que levanta questionamentos sobre a real eficácia clínica de longo prazo dessas tecnologias. Nesse sentido, observa-se uma discrepância relevante entre os resultados laboratoriais e o desempenho clínico, indicando que fatores operatórios e biológicos exercem influência significativa sobre os resultados restauradores.

A abordagem biomimética surge como uma tentativa de superar essas limitações, propondo a reprodução do comportamento biomecânico dos tecidos dentários. Embora conceitualmente robusta, a literatura ainda apresenta limitações quanto à validação clínica dessa filosofia. Estudos como os de PEREIRA et al. (2026) e FERRACANE (2024) sugerem benefícios associados à melhor distribuição de tensões e preservação estrutural; contudo, tais



evidências são predominantemente laboratoriais ou baseadas em estudos de curto prazo. Dessa forma, a adoção da biomimética na prática clínica ainda carece de evidências longitudinais consistentes que confirmem sua superioridade em relação às abordagens convencionais.

Os materiais bioativos representam um dos avanços mais promissores no campo dos materiais restauradores, sobretudo pela capacidade de liberar íons e promover remineralização. Entretanto, a análise crítica da literatura revela que, embora esses materiais apresentem potencial terapêutico, sua eficácia clínica ainda é motivo de debate. ALAMOUDI et al. (2025) destacam que a liberação iônica tende a diminuir ao longo do tempo, o que pode comprometer a continuidade do efeito bioativo. Além disso, HARDAN et al. (2022) apontam que a heterogeneidade metodológica dos estudos dificulta a comparação dos resultados, limitando a consolidação de evidências robustas.

No que se refere à modulação do biofilme, embora existam evidências de que materiais bioativos podem influenciar a atividade bacteriana, ainda não há consenso sobre a magnitude e a durabilidade desse efeito em condições clínicas reais. Tal lacuna evidencia a necessidade de estudos que avaliem não apenas o potencial bioativo em ambiente controlado, mas também sua efetividade frente à complexidade do meio bucal.

A nanotecnologia, por sua vez, tem contribuído significativamente para o aprimoramento das propriedades mecânicas e ópticas dos materiais restauradores. A incorporação de nanopartículas promove melhor distribuição de tensões e maior resistência ao desgaste, além de favorecer resultados estéticos superiores (MORAES et al., 2021). Contudo, apesar desses avanços, a literatura aponta limitações relacionadas ao custo, à padronização dos materiais e à variabilidade dos protocolos de fabricação. DE OLIVEIRA et al. (2020) destacam que a ausência de uniformidade nos estudos dificulta a extrapolação dos resultados para a prática clínica.

Adicionalmente, a discrepância entre resultados laboratoriais e clínicos permanece como um dos principais desafios na avaliação dos materiais restauradores contemporâneos. FERRACANE (2024) enfatiza que o desempenho dos materiais em ambiente clínico é influenciado por múltiplos fatores, incluindo técnica operatória, controle de umidade e carga mastigatória, os quais não são plenamente reproduzidos em estudos laboratoriais. Essa limitação reforça a necessidade de ensaios clínicos de longo prazo.

A incorporação de tecnologias digitais, como CAD/CAM e impressão tridimensional, representa um avanço significativo em termos de precisão e previsibilidade. No entanto, sua efetividade clínica está diretamente relacionada à curva de aprendizado do profissional e à disponibilidade tecnológica, o que pode limitar sua aplicação em determinados contextos clínicos (FIORIM et al., 2025).

Por fim, os materiais restauradores inteligentes configuram uma perspectiva inovadora, ao introduzir a capacidade de resposta a estímulos do ambiente bucal. Apesar do grande potencial, essa área ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento, com evidências predominantemente experimentais.

De forma geral, os achados indicam que, embora a evolução dos materiais restauradores tenha promovido avanços significativos, ainda persistem limitações importantes relacionadas à durabilidade, previsibilidade clínica e validação científica. Assim, a integração entre inovação tecnológica e evidência clínica robusta permanece como um desafio central para a odontologia restauradora.



Conclusão

A evolução dos materiais restauradores na odontologia evidencia uma transição significativa de sistemas passivos para abordagens biologicamente orientadas, incorporando conceitos como bioatividade, nanotecnologia e biomimética. Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos, a análise crítica da literatura demonstra que muitos desses desenvolvimentos ainda carecem de validação clínica consistente, especialmente no que se refere à longevidade e previsibilidade em longo prazo.

A abordagem biomimética, embora promissora do ponto de vista teórico e biomecânico, ainda apresenta limitações quanto à comprovação de sua superioridade clínica. Da mesma forma, os materiais bioativos, apesar de seu potencial remineralizante e antimicrobiano, enfrentam desafios relacionados à manutenção de suas propriedades ao longo do tempo.

Nesse contexto, evidencia-se que o progresso na odontologia restauradora não deve ser interpretado apenas como resultado da inovação tecnológica, mas sim como um processo que exige validação científica rigorosa e aplicabilidade clínica real. Assim, o sucesso da prática contemporânea depende da capacidade de integrar avanços laboratoriais com evidências clínicas de alta qualidade, garantindo que as inovações propostas resultem, de fato, em benefícios duradouros para o paciente.

Referências

- ACIOLE, J. M. S. et al. Amálgama dentário: uso, desuso e descarte: suas atitudes fazem a diferença! São Cristóvão: UFS, 2022.
- ALAMOUDI, N. A. et al. Emerging trends in restorative dental materials: review article. World Journal of Environmental Biosciences, v. 14, n. 4, p. 44-53, 2025.
- CARDOSO, A. B. C. et al. Evolução dos adesivos dentinários: revisão de literatura. Revista Aracê, v. 6, n. 2, p. 3700-3711, 2024.
- CROCOMO, M. C. et al. Bioactive restorative materials in dentistry: a review. Journal of Clinical Dentistry and Research, v. 19, n. 2, p. 88-102, 2022.
- DE OLIVEIRA, P. G. et al. Nanotechnology applied to restorative dentistry: a review of the literature. Journal of Applied Oral Science, v. 28, e20190645, 2020.
- FERRACANE, J. L. Resin composite—state of the art. Dental Materials, v. 27, n. 1, p. 29-38, 2011.
- FERRACANE, J. L. A historical perspective on dental composite restorative materials. Journal of Functional Biomaterials, v. 15, p. 173, 2024.
- FIORIM, B. S. et al. Advances and contemporary practices in dentistry: aesthetics, function and technology. Revista Contemporânea, v. 5, n. 6, p. 1-25, 2025.



HARDAN, L. et al. Novel trends in bioactive resin composites and adhesives: a systematic review. *Materials*, v. 15, n. 2, p. 410, 2022.

MORAES, R. R. et al. Recent advances in restorative polymers and composites. *Brazilian Oral Research*, v. 35, n. 2, p. 1-15, 2021.

PEREIRA, A. G. et al. Contemporary approaches in restorative dentistry: advances, challenges, and clinical perspectives. *Revista Contemporânea*, v. 6, n. 2, p. 1-21, 2026.