



Nanotecnologia aplicada a Biomateriais em técnicas preventivas e restauradoras

Lucas Mateus do Nascimento¹; Ricardo Felipe Ferreira da Silva²

Como Citar:

DO Nascimento, Lucas Mateus; DA SILVA, Ricardo Felipe Ferreira. Nanotecnologia aplicada a Biomateriais em técnicas preventivas e restauradoras. Revista Sociedade Científica, vol.7, n. 1, p.2326-2340, 2024.
<https://doi.org/10.61411/rsc202435417>

DOI: [10.61411/rsc202435417](https://doi.org/10.61411/rsc202435417)

Área do conhecimento: Ciências da Saúde.

Sub-área: Odontologia.

Palavras-chaves: Materiais dentários; Odontologia Preventiva; Nanotecnologia.

Publicado: 17 de maio de 2024

Resumo

Nas últimas décadas observou-se um significativo aumento no estudo dos biomateriais, que pode ser justificado pelo elevado índice de traumas e doenças que demandam a necessidade de se realizar tratamentos cada vez mais eficazes. Com o advento da nanotecnologia, houve um rápido progresso na área de biomateriais, proporcionando o desenvolvimento de novos materiais, além de maior conhecimento sobre a interação dos mesmos com os tecidos biológicos. O objetivo é descrever a importância, aplicabilidade e comportamento no meio bucal de biomateriais dentários nanoparticulados na odontologia preventiva e restauradora. Materiais e Trata-se de uma revisão da literatura disponível nos bancos de dados da Bireme, PubMed, Web of Science, Scielo, Lilacs, Scopus e Embase, acerca de biomateriais e suas aplicações para a Odontologia preventiva e restauradora, utilizando as palavras-chave “biomateriais”, “materiais dentários”, “compósitos resinosos”, “estética dental”, “sistema adesivo” e suas respectivas formas nos idiomas inglês e espanhol associados ao operador booleano AND. Os critérios de inclusão foram revisões de literatura, revisões integrativas, revisões sistemáticas e metanálise e ensaios clínicos disponíveis, publicados nos últimos 10 anos, nos idiomas inglês, português e espanhol. Também foram utilizados artigos da literatura cinza, complementar e referências cruzadas. Após leitura prévia dos resumos, foram selecionados os 28 artigos de maior relevância para o presente trabalho. A nanotecnologia trouxe avanços na odontologia preventiva e restauradora, sendo usada para criar nanoestruturas biomiméticas para produção de materiais odontológicos. Na odontologia restauradora, os nanomateriais são amplamente utilizados na construção de resinas nanocompostas e agentes de união. Também são usados para fazer produtos de higiene dental diária, como dentifrícios bioativos. Prevê-se que a nanotecnologia terá um grande impacto no campo odontológico com melhoria de tratamentos atuais. O uso clínico destes, deve ser feito de forma consciente e o cirurgião dentista deve ter conhecimento suficiente para realizar a melhor escolha terapêutica.

¹Centro Universitário Facex (UniFacex), Natal-RN, Brasil. ✉

²UnP, Natal-RN, Brasil. ✉



1. **Introdução**

A crescente procura por procedimentos estéticos têm exigido da Odontologia a busca por materiais que melhorem a longevidade clínica das restaurações dentárias, o que seria fundamental para manutenção da saúde bucal do indivíduo¹.

Há mais de um século, pesquisadores têm se aprofundado em estudos clínicos e experimentais procurando desenvolver materiais com características adequadas para substituição total ou parcial dos tecidos biológicos presentes no corpo humano, visando assim, uma recomposição mais próxima possível da ideal para anatomia e a função da região lesionada ou perdida devido a alguma patologia ou traumatismos diversos².

Biomateriais dentários são materiais (naturais ou sintéticos) utilizados em contato direto com sistemas biológicos, cuja finalidade é reparar ou substituir tecidos. Agem na remineralização do esmalte e da dentina, induzindo uma resposta específica na interface material-tecido³. Entre as principais características que devem atender este tipo de substância para seu uso é ser biocompatível, estéril, não solúvel, nem reabsorvível, bactericida, bacteriostático, não devem ser afetados ou contaminados por sangue, capazes de estimular a formação de dentina reparadora, adesão à dentina e a outros materiais restauradores, resistir às forças de compressão e tração, além de fornecer uma boa vedação contra bactérias e líquidos e de evitar infiltração, pois estão localizados em um ambiente úmido⁴.

Basicamente, existem três tipos de biomateriais sendo aplicados na odontologia restauradora: metais, resinas e cerâmicas. Os materiais de resina composta são conhecidos por sofrerem contração de polimerização nas margens, tornando-os suscetíveis a cáries secundárias e, eventualmente, à falha da restauração. Portanto, o desenvolvimento de compósitos dentários que possam resistir ao acúmulo de placa e, como resultado, diminuir a desmineralização induzida por ácido bacteriano pode aumentar a longevidade das restaurações diretas de resina composta⁵.



Atualmente, a odontologia restauradora é baseada principalmente na odontologia adesiva, na qual os materiais à base de resina são a primeira escolha para procedimentos de restauração. No entanto, este tipo de material tende a acumular mais biofilme do que outros materiais de restauração e tecidos duros dentários, como o esmalte⁶.

Como o foco é uma odontologia pouco invasiva e que busca a recuperação da saúde, estudos demonstram que a aplicação da nanotecnologia, se mostra promissora para inibir a cárie, controlando os ácidos produzidos pelo biofilme e aumentando a remineralização⁷. Sendo o avanço mais importante na área de materiais odontológicos restauradores, inúmeras tentativas foram feitas para desenvolver materiais restauradores dentários que ofereçam bom comportamento a longo prazo e atividade antibacteriana sem sacrificar suas propriedades mecânicas⁸.

Uma quantidade significativa de pesquisas tem sido conduzida sobre a incorporação de agentes antibacterianos e capazes de remineralizar tecido em resinas compostas odontológicas diretas. Exemplos desses agentes incluem flúor, hidroxiapatita, amônio quaternário e partículas/íons de óxido metálico, como prata, ouro, titânio, zinco e vidro⁹⁻¹¹.

Diante disso, esta revisão de literatura tem por objetivo descrever a importância, aplicabilidade e comportamento no meio bucal de biomateriais dentários nanoparticulados na odontologia preventiva e restauradora. Portanto, abrangerá os desenvolvimentos mais recentes em nanocompósitos dentários e agentes de ligação nanoestruturados com capacidades antibacterianas e remineralizantes na prevenção e controle de processos desmineralizantes.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão de literatura sobre o panorama atual do avanço tecnológico na área de biomateriais dentários para procedimentos preventivos e restauradores.

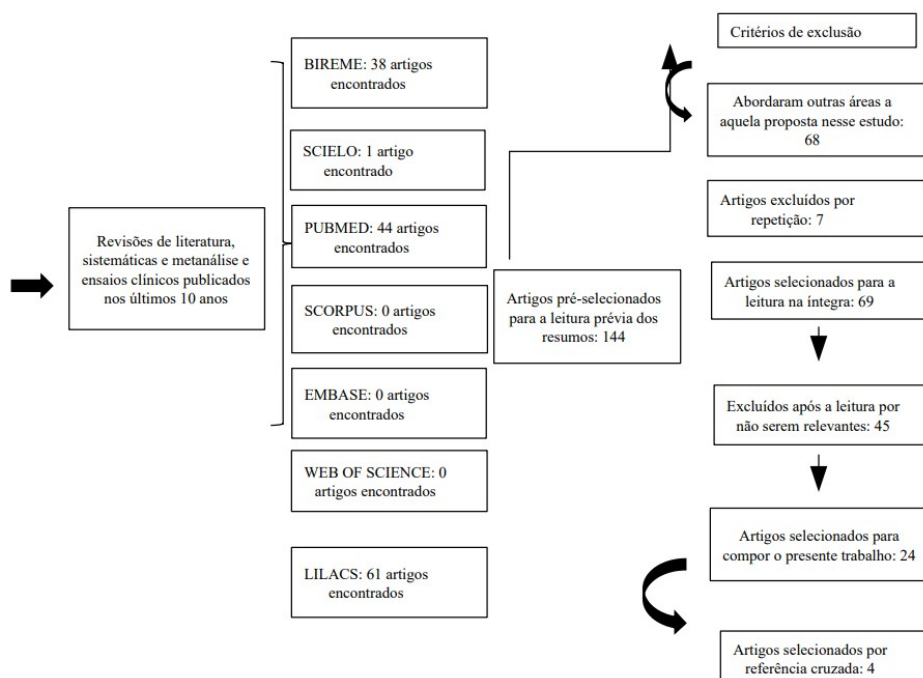


Para compor o presente trabalho foram consultados os bancos de dados da Bireme, PubMed, Web of Science, Scielo, Lilacs, Scopus e Embase utilizando as palavras-chave “biomateriais”, “materiais dentários”, “compósitos resinosos”, “estética dental”, “sistema adesivo” e suas respectivas formas nos idiomas inglês e espanhol associados ao operador booleano AND.

Os critérios de inclusão foram revisões de literatura, revisões integrativas, revisões sistemáticas e metanálise e ensaios clínicos disponíveis por completo, publicados nos últimos 10 anos, nos idiomas inglês, português e espanhol. Também foram utilizados artigos da literatura cinza, complementar e referências cruzadas.

Após leitura prévia dos resumos, foram descartados os artigos que não tinham relevância para o tema proposto neste estudo e que abordavam biomateriais em outras áreas da Odontologia.

Ao final, foram selecionados 28 artigos, conforme mostra o esquema 1, para o embasamento científico da escrita deste estudo.



Esquema I: estratégia de busca (Autores, 2024).



3. Desenvolvimento e discussão

De maneira geral, após a análise dos estudos selecionados, foi constatado que a incorporação de nanopartículas em materiais dentários para melhorar a durabilidade e eficácia das restaurações dentárias é um novo campo de grande interesse. Embora algumas revisões de literatura e estudos laboratoriais tenham focado na incorporação de nanopartículas em materiais odontológicos, elas avaliaram apenas a adição de nanopartículas a um material específico ou estudaram um único tipo de nanopartícula. Por outro lado, uma grande variedade de estudos tem se concentrado em investigar diferentes tipos de nanopartículas, suas concentrações e os meios ideais de incorporá-las em materiais para obter um material dentário resistente à colonização bacteriana.

Referência	Tipo de estudo	Conclusão
BOAVENTURA et al. (2019); CHENG et al. (2015); GUEDES et al. (2021); FERRANDO-MAGRANER et. al (2020); NETO et al. (2021); PHILIP N. (2018); ROSAS (2021); SHARAN et al. (2017); SINHORETI et al. (2013)	Revisões de literatura, sistemática e metanálise	Prevê-se que a nanotecnologia terá um grande impacto na pesquisa odontológica e melhoria nas metodologias de tratamento atuais, sendo usados muito mais amplamente com e propriedades superiores aos materiais atualmente utilizados.
ARUN et al. (2022); FRAZÃO et al. (2015); HARDAN et al. (2020); SKALLEVOLD et al. (2019); TAHRIRI et al. (2019); ZHANG et al. (2014)	Revisões de literatura, sistemática e metanálise	A incorporação de nanopartículas (fosfato de cálcio, grafeno, biovidro ativado, zeólita, composto quartenário de amônio) melhoraram as propriedades físicas e biológicas dos materiais odontológicos
AI et al. (2017); ANAND et al. (2017); ESPOSTI et al. (2020); KASRAEI et al. (2014); YUAN et al. (2019);	Ensaio Clínico/ Ensaio clínico randomizado duplo cego	Investigaram diferentes tipos de nanopartículas, suas concentrações e os meios ideais de incorporá-las em materiais com eficácia

Tabela 1: Síntese dos principais achados

A nanotecnologia é uma ciência que estuda estruturas, materiais e partículas, em que uma de suas dimensões está em escala nanométrica. A nanociência tem revolucionado diversas áreas da saúde, dentre elas, a odontologia e atualmente torna-se



necessária a utilização de condutas clínicas de mínima invasão, em especial na dentística restauradora, ambas em constante evolução¹².

De modo geral, em todas as especialidades da área odontológica vêm sendo adotados procedimentos que podem ser feitos pelos cirurgiões-dentistas de maneira menos invasiva, podendo ser citados na dentística como exemplo, o processo de remineralização do elemento dental por diferentes materiais^{3,2}.

Diante desse cenário, há uma tentativa de mudar terapias de biomineralização reparadoras para regenerativas, em que os tecidos dentários doentes são substituídos por tecidos biologicamente semelhantes. No entanto, a regeneração do esmalte é particularmente desafiadora, pois o esmalte maduro é acelular e não se reabsorve ou se remodela ao contrário do osso ou da dentina¹³.

Atualmente, a desmineralização é um problema que afeta uma porcentagem cada vez maior da população mundial e é o principal mecanismo envolvido no desenvolvimento da cárie dentária e da hipersensibilidade dentinária (HD), sendo resultado de interações complexas que ocorrem nos tecidos duros dentários. Outras situações como o consumo de alimentos ou bebidas ácidas e a presença de doença do refluxo gastroesofágico também estão descritos na literatura como fatores contribuintes¹⁴.

Quando o pH cai abaixo de $\approx 5,5$, ocorre o processo de dissolução da hidroxiapatita, que é a parte mineral que representa 95% em peso e 75% em peso do esmalte e da dentina, respectivamente. Sendo um processo reversível se os tecidos danificados forem expostos a um ambiente que favoreça a remineralização¹⁵.

Embora a remineralização mediada por flúor seja o padrão ouro de base das filosofias atuais de tratamento de cárie, várias novas estratégias de remineralização foram comercializadas ou estão em desenvolvimento que pretendem promover uma remineralização de lesões, reduzir os riscos potenciais associados a produtos de higiene bucal com alto teor de flúor, e facilitar o controle da cárie ao longo da vida¹⁶.



Nesse contexto, novos produtos têm sido introduzidos no mercado com a proposta de auxiliar na redução da HD, uma vez que atuam como agente dessensibilizante. Um exemplo disso são os dentifrícios, que contêm compostos bioativos, como fosfato de cálcio amorfo e fosfopeptídeo de caseína (CPP-ACP) (Recaldent™), vidro bioativo contendo fosfosilicato de Cálcio e sódio (NovaMin®) e, ainda, hidroxiapatita, nitrato de potássio e dióxido de titânio. Contudo, há também formulações nas quais esses compostos se apresentam associados a fluoretos^{17,18}.

Em concordância, por meio de uma revisão sistemática analisando ensaios clínicos randomizados, Freitas *et al.*¹⁹, relatou que a utilização de cremes bioativos com vidro bioativado nas concentrações 2,5%-7,5% para tratamento de hipersensibilidade dentinária, apresenta ser uma proposta eficiente devido a capacidade de estimular a neoformação de uma barreira na superfície dentária.

Os cremes dentais são considerados os veículos mais eficazes e acessíveis de agentes remineralizantes, e a incorporação de agentes bioativos para contrastar a erosão do esmalte e da dentina nos cremes dentais tem se tornado cada vez mais comum^{14,16}. Com isso, é consenso que efeitos pequenos, mas acumulativos, podem prevenir alterações disbióticas nos biofilmes dentários e podem ajudar a manter um microbioma oral saudável. Portanto, pode ser benéfico para o hospedeiro e seu biofilme usar agentes externos adequados para desencadear a remineralização e prevenir processos de desmineralização.

No contexto da restauração dentária, falhas como fratura e infiltração marginal, são comuns devido a propriedades físicas e químicas entre os materiais e o tecido duro dental. Além disso, restos de alimentos se acumulam facilmente na superfície de materiais gerando locais de retenção de placa dentária mais comumente na interface entre a restauração e a cavidade preparada, seguido pela invasão de bactérias cariogênicas, principalmente *Streptococcus mutans* (S. mutans). Isso resulta em cáries recorrentes e subsequente deslocamento da restauração, e leva ao ciclo vicioso de



restauração com tamanho crescente que, em última análise, reduz a expectativa de vida do dente^{20,21}. Observa-se também que todo e qualquer material utilizado nas restaurações apresentam características biológicas inferiores aos tecidos naturais presentes no elemento dentário.

Ao longo de muitos anos, existia uma padronização quanto à abordagem terapêutica utilizada para o tratamento de elementos dentais cariados, que preconizava a completa remoção dos tecidos cariados seguida do restabelecimento da forma e função do dente pela restauração. A preparação cavitária era extensa, feita de maneira geométrica predeterminada, o que levava a uma degradação desnecessária das estruturas híidas, reduzindo assim a resistência do elemento dentário às forças mastigatórias que incidem sobre a restauração²².

Várias estratégias foram desenvolvidas para promover menor desgaste do tecido dental, estabilidade da adesão e evitar falhas na restauração dentária e diferentes materiais bioativos têm sido testados em materiais dentários^{23,24,25}.

Partindo dessa ideia, Ferrando-Magraner *et al.*⁶ em sua revisão sistemática examinou e analisou quantitativamente as evidências atuais para a adição de diferentes nanopartículas em materiais restauradores dentários, para determinar se sua incorporação aumenta as propriedades antibacterianas/antimicrobianas dos materiais e concluiu que a incorporação de nanopartículas levou a um aumento significativo na capacidade antibacteriana de todos os materiais odontológicos sintetizados em comparação com os materiais do grupo controle.

Wang *et al.*²¹ abordaram as propriedades antibacterianas de biomateriais à base de prata (AgBMs). Entre todos os tipos de AgBMs, os AgNPs receberam a maior atenção por suas excelentes propriedades antimicrobianas contra bactérias, fungos e vírus envelopados. AgNPs são definidos como partículas elementares de prata em tamanho em escala nanométrica (1 nm a 100 nm). Em comparação com as partículas da prata coloidal tradicional, os AgNPs são mais consistentes em tamanho e forma, o que



significa consistência nas propriedades. Além disso, o tamanho reduzido melhora a resistência ao desgaste, o que é valioso em odontologia. Sua relação superfície/volume aumentada resulta em reações de superfície mais altas e resistência de ligação mais forte. Podem também, melhorar a estética dos materiais odontológicos.

Hao *et al.*²⁰ avaliaram através de uma revisão sistemática a incorporação da zeólita aos materiais dentários e sua combinação com íons inorgânicos como a prata e zinco para liberação controlada e melhora das suas propriedades mecânicas e antibacterianas. Foi avaliado sua adição em Hidróxido de Cálcio, MTA, Cimento de Ionômero de vidro e em diferentes resinas acrílicas e não acrílicas. Os autores concluíram que a zeólita incorporada, principalmente a prata, demonstrou propriedades antimicrobianas aprimoradas quando inserida a materiais dentários. Quanto às propriedades mecânicas foi recomendado uma concentração menor de zeólita ao MTA e materiais protéticos acrílicos com a ressalva de que mais estudos são necessários para se obter um valor exato.

Tahriri *et al.*²⁶ em sua revisão, apresentou aplicações de nanomateriais de engenharia baseadas em grafeno de última geração para células no campo odontológico e perspectivas sobre as diversas aplicações do grafeno e seus derivados em associação com implantes dentários de titânio, membranas para regeneração óssea, resinas, cimentos e adesivos, bem como procedimentos de clareamento dental.

Na revisão de Zhang *et al.*¹¹ foram citados estudos evidenciando a utilização de compostos quaternários de amônio (QACs) em resinas compostas, resinas acrílicas na confecção de próteses, cimento de ionômero de vidro e em cimentos endodônticos. Os estudos mostraram que o QACs possuem atividades antimicrobianas contra bactérias e fungos que poderia acarretar na diminuição a ocorrência de cárie secundária, infecção fúngica e falhas de origem patológica em tratamentos endodônticos.

Outro desafio para os procedimentos adesivos dentinários é possibilitar uma ligação efetiva entre a estrutura dental e materiais restauradores. Enquanto a adesão ao



esmalte está consagrada como duradoura e bem-sucedida, a adesão à dentina em longo prazo permanece um desafio clínico até os dias de hoje ^{7,2}

Com base nisso, estudos apontam que os adesivos podem ser enriquecidos com nanobiovidro, capazes de recuperar as propriedades de uma dentina afetada por cárie, sem prejudicar a adesividade. Este material bioativo dispõe de uma excelente capacidade para induzir a precipitação do fosfato de cálcio e, consecutivamente, a cristalização em hidroxiapatita quando imerso saliva. Devido ao seu mecanismo de ação, vidros bioativos possuem a capacidade de reparar defeitos ósseos e estão presentes em alguns tratamentos contra a hipersensibilidade dentinária^{27,28}

4. **Considerações finais**

Com o avanço da nanotecnologia traz quantidades enormes de novos materiais com propriedades únicas. A evolução dos materiais dentários facilitou a prática do cirurgião dentista. O aperfeiçoamento e o desenvolvimento de novas técnicas e meios remineralizantes parece ser a abordagem mais promissora para suprimir a desmineralização, melhorar a durabilidade da ligação resina-dentina e a resistência de união, controlar as recidivas de cárie muitas vezes associadas aos procedimentos restauradores e promover a remineralização.

A utilização da nanotecnologia no aprimoramento dos biomateriais dentários não é uma prática recente, contudo materiais restauradores com características universais como resistência às forças oclusais e estética favorável ainda constitui um objetivo a ser alcançado. No entanto, faz-se necessário um maior número de pesquisas que avaliem a longo prazo os efeitos desses materiais e o conhecimento do profissional de odontologia sobre indicações e protocolos de uso, haja visto que constantemente novos produtos são testados e inseridos no mercado.

5. Biografias



Cirurgião-dentista formado pelo Centro Universitário Facex (UniFacex)
<https://orcid.org/0000-0002-4128-0948>



Cirurgião-dentista formado pela Universidade Potiguar (UnP), Docente do Centro Universitário Facex (UniFacex), Mestre em Biotecnologia, Especialista em Prótese Dentária.
<https://orcid.org/0000-0002-4493-1128>

6. Declaração de direitos

O(s)/A(s) autor(s)/autora(s) declara(m) ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declara(m) que as imagens e textos publicados são de responsabilidade do(s) autor(s), e não possuem direitos autorais reservados à terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declara(m) respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declara(m) não cometer plágio ou auto plágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

7. Referências

1. FERNANDES HGK, SILVA R, MARINHO MAS, OLIVEIRA POS, SILVA R, RIBEIRO JCR, et al. Evolução da Resina Composta: Revisão da Literatura.



- Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações. 2014; 12(2): 401-411
2. SINHORETI MAC, VITTI RP, CORRER-SOBRINHO L. Biomateriais na Odontologia: panorama atual e perspectivas futuras. Rev assoc paul cir dent. 2013; 67(3):176-186
 3. GUEDES FC, ROCHA LN, DELGADO IA, BEZERRA MES, SILVA TL, MEDEIROS MLBB, et al. O papel dos biomateriais na Odontologia restauradora e minimamente invasiva. Brazilian Journal of Development. 2021;7(7):69889-69899
 4. ROSAS IMJ. Biomateriales que inducen la Remineralización del esmalte dental y dentina. Revista ADM. 2021; 78(4):195-204
 5. ARUN D, MUDIYANSELAGE DA, MOHAMED RG, LIDDELL M, HASSAN NMM, SHARMA D. Does the Addition of Zinc Oxide Nanoparticles Improve the Antibacterial Properties of Direct Dental Composite Resins? A Systematic Review. Materials (Basel). 2020; 14(1): 40
 6. FERRANDO-MAGRANER E, BELLOT-ARCÍS C, PAREDES-GALLARDO V, ALMERICH-SILLA JM, GARCÍA-SANZ V, FERNÁNDEZ-ALONSO M, et al. Antibacterial Properties of Nanoparticles in Dental Restorative Materials. A Systematic Review and Meta-Analysis. Medicina (Kaunas). 2020; 56(2):55
 7. CHENG L, ZHANG K, WEIR MD, MELO MAS, ZHOU X, XU HH. Nanotechnology strategies for antibacterial and remineralizing composites and adhesives to tackle dental caries. Nanomedicine (Lond). 2015; 10(4):627-41
 8. BOAVENTURA JRR, ALVES MDO, MONTEIRO AA, PORFIRO LD, SOUSA ED. Contribuição da Engenharia para odontologia: estudo das propriedades mecânicas dos biomateriais. Revista Anápolis Digital. 2019; 8(1)



9. AI M, DU Z, ZHU S, GENG H, ZHANG X, CAI Q, et al. Composite resin reinforced with silver nanoparticles–laden hydroxyapatite nanowires for dental application. *Dental Materials*. 2017; 22(1):12-22
10. KASRAEI S, SAMI L, HENDI S, ALIKHANI MY, REZAIE-SOUFI L, KHAMVERDI Z. Antibacterial properties of composite resins incorporating silver and zinc oxide nanoparticles on *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus*. *Restor Dent Endod*. 2014; 39(2):109-114
11. ZHANG Y, CHEN Y, HU Y, HUANG F, XIAO Y. Quaternary ammonium compounds in dental restorative materials. *Dental Materials Jornal*. 2018;37(2):183-191
12. SHARAN J, SINGH S, LALE SV, MISHRA M, KOUL V, KHARBANDA P. Applications of Nanomaterials in Dental Science: A Review. *J Nanosci Nanotechnol*, 2017;17(4):2235-255
13. YAZDANIAN M, RAHMANI A, TAHMASEBI E, TEBYANIAN H, TAZDANIAN A, MOSADDAD SA. Current and Advanced Nanomaterials in Dentistry as Regeneration Agents: Na Update. *Mini Ver Med Chem*, 2021;21(7):899-918
14. ESPOSTI LD, IONESCU AC, BRAMBILLA E, TAMPIERI A; IAFISCO M. Characterization of a Toothpaste Containing Bioactive Hydroxyapatites and In Vitro Evaluation of Its Efficacy to Remineralize Enamel and to Occlude Dentinal Tubules. *Materials*. 2020;13(13):2928
15. SAEKI K, CHIEN Y-C, NONOMURA G, CHIN AF, HABELITZ S, GOWER LB, et al. Recovery after PILP remineralization of dentin lesions created with two cariogenic acids. *Arch Oral Biol*.2017; 82:194-202
16. PHILIP N. State of the Art Enamel Remineralization Systems: The Next Frontier in Caries Management. *Caries Res*. 2018; 53(3):284-295



17. ANAND S, REJULA F, SAM JVG, CHRISTALINE R, NAIR MG, DINAKARAN S. Comparative Evaluation of Effect of Nano-hydroxyapatite and 8% Arginine Containing Toothpastes in Managing Dentin Hypersensitivity: Double Blind Randomized Clinical Trial. *Acta Medica (Hradec Kralove)*. 2017;60(3):114-119
18. YUAN P, LIU S, LV Y, LIU W, MA W, XU P. Effect of a dentifrice containing different particle sizes of hydroxyapatite on dentin tubule occlusion and aqueous Cr (VI) sorption. *Int J Nanomedicine*, 2019;14:5243-5256
19. FREITAS SAA, OLIVEIRA NMA, DE GEUS JL, SOUZA SFC, PEREIRA AFV, BAUER J. Bioactive toothpastes in dentin hypersensitivity treatment: A systematic review. *Saudi Dent J*. 2021; 33(7):395-403
20. HAO J, LAND S, MANTE F, PAVELIC K, OZER F. Antimicrobial and Mechanical effects of Zeolite use in Dental Materials: a Systematic Review. *Acta Stomatol Croat*. 2021;55(1): 76-89
21. WANG Q, ZHANG Y, LI Q, CHEN L, LIU H, DING M, et al. Therapeutic Applications of Antimicrobial Silver-Based Biomaterials in Dentistry. *Int J Nanomedicine*, 2022;17:443-462
22. NETO JMAS, AGRA LAC, LUZ MCM, SOUZA SVP, SANTOS JV, MENDONÇA ICG. Os avanços da odontologia minimamente invasiva nos dias atuais. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*. 2021;13(2):6267
23. BASTOS NA, BITENCOURT SB, MARTINS EA, SOUZA GM. Review of nano-technology applications in resin-based restorative materials. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33(4):567-582
24. HARDAN L, MANCINO D, BOURGI R, ALVARADO-OROZCO A, RODRÍGUEZ-VILCHIS LE, FLORES-LEDESMA A. Bond Strength of Adhesive Systems to Calcium Silicate-Based Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Gels*.2022;8(5):311



25. ZHANG K, ZHANG N, WEIR MD, REYNOULDS MA, YUXINGBAI, XU HH. Bioactive Dental Composites and Bonding Agents Having Remineralizing and Antibacterial Characteristics. *Dent Clin North Am*, 2017;61(4):669-687
26. TAHRIRI M, MONICO MD, MOGHANIAN A, YARAKI MT, TORRES R, YADEGARI A et al. Graphene and its derivatives: Opportunities and challenges in dentistry. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.*, 2019;102:171-185
27. FRAZÃO MCA, SILVA GV, LINHARES TS, LAGO ADN, LIMA DM . Biovidro 45S5: Um Avanço Biotecnológico nos Materiais Restauradores da Odontologia. *Revista da Faculdade de Odontologia de Lins.* 2015; 25(2):47-55
28. SKALLEVOLD HE, ROKAYA D, KHURSHID Z, ZAFAR MS. Bioactive Glass Applications in Dentistry. *Int J Mol Sci*, 2019;20(23):5960