

UNILEÃO
CENTRO UNIVERSITÁRIO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

PAULO DAVID GOMES LIMA E SOUZA
LEONARDO VASCONCELOS LIMA

**NANOTECNOLOGIA NOS MATERIAIS ODONTOLÓGICOS RESTAURADORES:
POSSIBILIDADES ATUAIS E FUTURAS**

JUAZEIRO DO NORTE-CE
2023

PAULO DAVID GOMES LIMA E SOUZA
LEONARDO VASCONCELOS LIMA

**NANOTECNOLOGIA NOS MATERIAIS ODONTOLÓGICOS RESTAURADORES:
POSSIBILIDADES ATUAIS E FUTURAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Odontologia do Centro Universitário Doutor Leão
Sampaio, como pré-requisito para obtenção do grau
de Bacharel.

Orientador(a): Prof^o. Esp. Mário Correia de Oliveira
Neto

JUAZEIRO DO NORTE-CE
2023

PAULO DAVID GOMES LIMA E SOUZA / LEONARDO VASCONCELOS LIMA

**NANOTECNOLOGIA NOS MATERIAIS ODONTOLÓGICOS RESTAURADORES:
POSSIBILIDADES ATUAIS E FUTURAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Odontologia do Centro Universitário Doutor Leão
Sampaio, como pré-requisito para obtenção do grau
de Bacharel.

Aprovado em 03/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

**PROFESSOR (A) ESPECIALISTA MÁRIO CORREIA DE OLIVEIRA NETO
ORIENTADOR (A)**

**PROFESSOR (A) DOUTOR (A) THAYLA HELLEN NUNES GOUVEIA DA COSTA
MEMBRO EFETIVO**

**PROFESSOR (A) ESPECIALISTA RAVENA PINHEIRO TELES TOMAZINI
MEMBRO EFETIVO**

NANOTECNOLOGIA NOS MATERIAIS ODONTOLÓGICOS RESTAURADORES: POSSIBILIDADES ATUAIS E FUTURAS

Paulo David Gomes Lima e Souza¹

Leonardo Vasconcelos Lima²

Mário Correia de Oliveira Neto³

RESUMO

A nanotecnologia está revolucionando a área da odontologia, oferecendo soluções inovadoras para o tratamento de patologias nos tecidos duros dentais. Uma das principais aplicações dessa tecnologia é a incorporação de nanopartículas em materiais restauradores, a fim de melhorar a biocompatibilidade e estimular a regeneração do tecido dentinário. Foi realizada uma revisão integrativa da literatura com o objetivo de revisar a aplicação da nanotecnologia em materiais restauradores odontológicos e identificar as principais melhorias e avanços em suas características mecânicas, biocompatibilidade e capacidade de induzir a regeneração dos tecidos dentais. A pesquisa compilou os estudos mais recentes disponíveis nos principais portais de pesquisa online, como PubMed, SciELO e BVS. Os descritores utilizados foram: nanoestruturas, nanopartículas, nanotecnologia e odontologia, em inglês e espanhol, no período entre 2009 e 2022. Após uma análise criteriosa, foram selecionados 20 artigos que abordavam os objetivos da pesquisa. A nanotecnologia tem impulsionado avanços significativos na odontologia, permitindo o desenvolvimento de materiais restauradores de alta qualidade que promovem a regeneração dos tecidos existentes. Com o uso de nanopartículas, esses materiais apresentam características mecânicas aprimoradas e maior biocompatibilidade. Esses avanços representam uma abordagem promissora que supera as limitações dos materiais convencionais e melhora os resultados dos tratamentos odontológicos.

Palavras-chave: Nanoestruturas. Nanopartículas. Nanotecnologia. Odontologia.

ABSTRACT

Nanotechnology is revolutionizing the area of dentistry, offering innovative solutions for the treatment of pathologies in dental hard tissues. One of the main applications of this technology is the incorporation of nanoparticles in restorative materials, in order to improve biocompatibility and stimulate dentin tissue regeneration. An integrative literature review was carried out with the aim of revising the application of nanotechnology in dental restorative materials and identifying the main improvements and advances in their mechanical characteristics, biocompatibility and ability to induce regeneration of dental tissues. The research compiled the most recent studies available in the main online research portals, such as PubMed, SciELO and BVS. The descriptors used were: nanostructures, nanoparticles, nanotechnology and dentistry, in English and Spanish, in the period between 2009 and 2022. After a careful analysis, 20 articles were selected that addressed the research objectives.

¹ Graduando do curso de Odontologia do Centro Universitário Dr. Leão Sampaio – paullodavy31@hotmail.com

² Graduando do curso de Odontologia do Centro Universitário Dr. Leão Sampaio – beleonardovasconcelos@gmail.com

³ Docente do curso de Odontologia do Centro Universitário Dr. Leão Sampaio – mariocorreianeto@leaosampaio.edu.br

Nanotechnology has driven significant advances in dentistry, allowing the development of high quality restorative materials that promote regeneration of existing tissues. With the use of nanoparticles, these materials have improved mechanical characteristics and greater biocompatibility. These advances represent a promising approach that overcomes the limitations of conventional materials and improves the results of dental treatments.

Keyword: Dentistry. Nanostructures. Nanoparticles. Nanotechnology.

1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia na Odontologia envolve a criação de nanoestruturas e materiais em escala nanométrica com estruturas ente 1 e 100 *nm* (Nanômetros). Isso pode ser feito usando duas estratégias: “de cima para baixo”, reduzindo o tamanho de estruturas maiores, e “de baixo para cima”, construindo átomos ou moléculas individualmente. Essa tecnologia permite a criação de nanopartículas específicas para diagnóstico, prevenção e tratamento de patologias bucais. Além disso, ela melhora as propriedades dos materiais restauradores e sistemas adesivos utilizados na Odontologia, proporcionando benefícios como liberação controlada de substâncias terapêuticas e maior resistência e estética (MOLINA e PALMA, 2018; JANDT e WATTS, 2020).

A nanotecnologia é aplicada em diversos materiais restauradores na Odontologia, como compósitos dentários, cimentos de ionômero de vidro, materiais à base de hidroxiapatita, adesivos dentinários e revestimentos nanoestruturados. A adição de nanopartículas melhora as propriedades mecânicas, adesivas e antimicrobianas desses materiais, permitindo restaurações mais duráveis, selamento eficiente, regeneração tecidual e estética aprimorada. As atuais possibilidades promissoras nos materiais restauradores incluem o reforço das propriedades mecânicas, adesão eficaz, liberação controlada de substâncias terapêuticas, estímulo à regeneração, estética aprimorada e diagnóstico avançado (JANDT e WATTS, 2020).

Prevê-se que, no futuro, abordagens biomiméticas e nanotecnológicas serão utilizadas para reparar e reconstruir tecidos dentários danificados, incluindo o esmalte. A resina composta é um dos materiais mais utilizados devido à sua versatilidade e propriedades estéticas, mecânicas e biocompatíveis. No entanto, a contração durante a polimerização e a suscetibilidade à adesão bacteriana podem levar a falhas nas restaurações. Para reduzir a adesão de bactérias, nanopartículas de prata estão sendo incorporadas às resinas, devido ao seu potencial antibacteriano, antiviral e antifúngico, com baixa citotoxicidade e resposta imunológica (BREGNOCCHI et al., 2017; SHARAN et al., 2017; YIN et al., 2020).

As nanopartículas de grafeno são um nanomaterial promissor na Odontologia devido às suas propriedades únicas. Elas têm sido exploradas na engenharia de tecidos para reconstrução de tecidos duros e fortalecimento de outros materiais. O grafeno também demonstrou efeitos benéficos na regulação de tecidos e células devido às suas propriedades mecânicas excepcionais. O adesivo dental à base de grafeno com atividade antibiofilme é um exemplo desses avanços, oferecendo alta resistência mecânica, adesão eficaz aos tecidos dentais e propriedades anti-inflamatórias. Embora a pesquisa ainda esteja em estágios iniciais, os resultados são encorajadores, e estudos adicionais são necessários para avaliar sua eficácia e segurança a longo prazo (BREGNOCCHI et al., 2017; SHIN et al., 2018).

As evidências recentes sugerem que a nanotecnologia, mesmo ainda sendo um recém-nascido na Odontologia, promete uma revolução no desenvolvimento de novas técnicas e materiais neste campo. Por meio da nanotecnologia, cientistas têm conseguido desenvolver mais e melhores materiais e componentes. É de suma importância que na atualidade o Cirurgião-Dentista conheça esta nanociência para aplicação em certas situações clínicas que implica uma melhoria estética e mecânica, como também na substituição de tecidos nativos perdidos, como na bioregeneração dos tecidos ainda presentes.

Portanto, buscou-se revisar na literatura de forma integrativa, a aplicação da nanotecnologia aos materiais odontológicos restauradores, assim como, identificar as principais melhorias e evoluções de suas características mecânicas, biocompatibilidade e a capacidade de induzir a regeneração dos tecidos dentais.

2 METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão de literatura integrativa que tem como objetivo revisar e identificar pesquisas disponíveis sobre a aplicação da nanotecnologia em materiais odontológicos restauradores. De acordo com os objetivos foi realizada uma busca de estudos relevantes selecionadas das seguintes bases de dados científicas: Public Medline (PUBMED), Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e Biblioteca Virtual de Saúde (BVS). A busca eletrônica foi conduzida utilizando os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): “Nanoestruturas”, “Nanopartículas”, “Nanotecnologia” e “Odontologia”, em inglês “Dentistry”, “Nanostructures”, “Nanoparticles” e “Nanotechnology”, e em espanhol “Nanoestructuras”, “Nanopartículas”, “Nanotecnología” e “Odontología” combinados com os conectores booleanos “AND” e “OR”.

Os critérios de inclusão adotados foram: a) artigos relevantes sobre o tema nos idiomas inglês e espanhol; b) artigos de pesquisa com disponibilidade de texto completo on-

line; c) artigos publicados entre os anos de 2009 e 2022. Os critérios de exclusão foram: artigos publicados em outros idiomas, textos incompletos, monografias, resumos, trabalho de conclusão de curso, pesquisas duplicadas e aqueles que não estavam diretamente relacionados ao tema principal da pesquisa. Após a seleção, os artigos foram lidos na íntegra e submetidos a uma análise crítica. As informações relevantes foram extraídas e organizadas para abordar os aspectos importantes relacionados às possibilidades atuais e futuras da nanotecnologia em materiais odontológicos restauradores.

Aplicados os critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 30 artigos para leitura. Desses, 10 artigos foram excluídos após leitura na íntegra, pois não estavam de acordo com os objetivos da pesquisa. Sendo assim, 20 artigos fizeram composição da análise.

3 RESULTADOS

Os autores estudados acreditam no potencial da nanotecnologia na odontologia, reconhecendo suas vantagens e propriedades únicas. Eles discutem aplicações promissoras, como melhorias nos materiais odontológicos e tratamentos, focando na resistência mecânica, biocompatibilidade, propriedades antimicrobianas e regeneração tecidual. No entanto, também destacam a necessidade de estudos adicionais sobre segurança e toxicologia dos materiais nanoestruturados. Em resumo, os autores têm uma visão positiva sobre a nanotecnologia na odontologia, ressaltando a importância da abordagem cautelosa e responsável. Para melhor compreensão dos dados foi feita uma setorização, separando os autores por subtemas abordados.

3.1 NANOTECNOLOGIA APLICADA À ODONTOLOGIA

QUADRO 1. Nanotecnologia Aplicada à Odontologia

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Nanomateriais Em Odontologia Preventiva	HANNIG e HANNIG, (2010)	Nanomateriais, como líquidos e pastas contendo nano-apatitas, estão sendo usados na prevenção e controle das lesões de cárie dentária.	A restauração biomimética e o preenchimento de pequenas cavidades clinicamente visíveis com nanomateriais não são considerados viáveis.
Aplicações De Nanomateriais Na Ciência Odontológica: Uma Revisão	SHARAN et al., (2017)	As nanopartículas são amplamente utilizadas na odontologia, proporcionando uma variedade de benefícios, como aprimoramento da eficácia dos tratamentos, estímulo à regeneração tecidual, propriedades	A nanotecnologia tem potencial promissor para avançar na odontologia, de forma inovadora, promovendo o desenvolvimento de resinas antimicrobianas, materiais de adesão e abordagens

		antimicrobianas e fortalecimento de materiais dentários.	biomiméticas para reparo de tecidos dentários.
Nanotecnologia Em Odontologia: Aspectos Gerais E Possíveis Aplicações	MOLINA e PALMA, (2018)	Atualmente apresenta diversas aplicações, como o aprimoramento de materiais dentários, terapia antimicrobiana, regeneração tecidual, diagnóstico avançado e liberação terapêutica de medicamentos.	Oferece amplas oportunidades para a pesquisa e o desenvolvimento de novas perspectivas para o diagnóstico, prevenção, tratamento de doenças bucais, na preservação dos tecidos e na implementação de estratégias simples, eficazes e de amplo alcance comunitário.
Nanotecnologia Em Odontologia: Perspectivas Atuais E Futuras Sobre Nanomateriais Odontológicos	JANDT e WATTS, (2020)	A comercialização da palavra "nano" pode ser mais atraente do que produtiva. Nem todos os produtos que afirmam ser baseados em nanotecnologia realmente incorporam tecnologia nanométrica.	A nanotecnologia apresenta perspectivas promissoras, especialmente aqueles com propriedades antimicrobianas para combater bactérias e biofilmes, resultando em melhores resultados clínicos no tratamento odontológico.

A nanotecnologia, em particular os nanomateriais, tornou-se uma tecnologia revolucionária. Poucas novas descobertas de pesquisas e novos produtos relatados nesta área parecem ser verdadeiramente inovadores, aparentando melhorias em vários níveis. Os usos da nanotecnologia na Odontologia são enormes sendo os mais comuns, as nanopartículas em materiais odontológicos restauradores na aplicação como cargas em compósitos nano-híbridos. O maior desafio da nanotecnologia é a síntese controlada e proposital de nanomateriais e nanoestruturas. O método de síntese de nanomateriais é extenso e depende de vários fatores, como o tamanho do material que está sendo criado (fig. 1; fig. 2) (JANDT e WATTS, 2020).

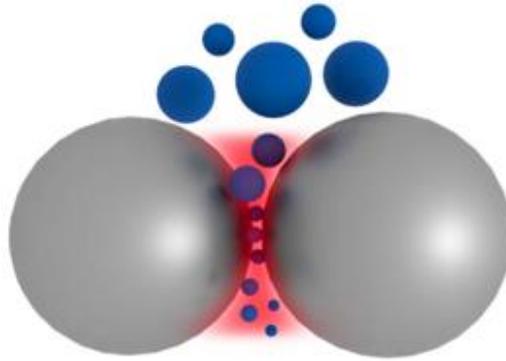


Figura 1 (JANDT e WATTS, 2020, p. 04). Princípio da britagem de partículas em moinho de bolas. As grandes esferas de moagem trituram as partículas dentro de seu volume ativo (área sombreada entre as esferas de moagem).

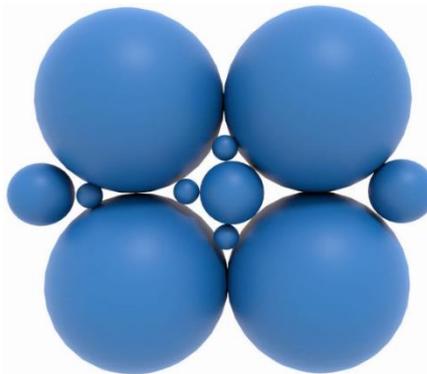


Figura 2 (JANDT e WATTS, 2020, p. 07). Embalagem de partículas de diferentes tamanhos relevantes para compósitos e cerâmicas odontológicas. As nanopartículas permitem preencher os vazios entre as partículas maiores e, assim, aumentar a densidade de empacotamento das partículas.

A intenção da Odontologia moderna é a prevenção precoce da cárie dentária, não o tratamento restaurador. Apesar dos esforços para promover a higiene bucal e a fluoretação, a prevenção e o tratamento biomimético de lesões cáries precoces permanecem um desafio. De forma significativamente positiva, alguns materiais surgiram para compor a resina e diminuir essa afinidade bacteriana, seja na sua etapa de adesividade, seja na resina composta, como por exemplo, adesivos à base de nanopartículas de grafeno (GNP), diminui essa afinidade bacteriana e promove uma adesão muito maior do que o adesivo convencional (HANNIG; HANNIG, 2010; BREGNOCCHI et al., 2017).

Uma das principais aplicações da nanotecnologia em Odontologia é a melhoria dos materiais restauradores. Com a adição de nanopartículas, como nanopartículas de prata, ouro, zinco e sílica, é possível obter materiais com propriedades antimicrobianas, o que auxilia no combate a infecções e na prevenção da formação de biofilme dental. Além disso, essas nanopartículas podem conferir maior resistência ao desgaste e polimento aos materiais, prolongando sua durabilidade e estética (MOLINA e PALMA, 2018).

Os nanocompósitos dentários são materiais que possuem propriedades mecânicas comparáveis ou superiores aos compósitos dentários convencionais. Eles consistem em resinas compostas combinadas com nanopartículas, o que resulta em um aumento no módulo de elasticidade. Esses materiais têm uma alta relação superfície/volume, permitindo o uso de partículas de preenchimento menores e uma melhor dispersão. No entanto, eles também podem apresentar uma diminuição na resistência ao impacto. A compreensão da relação entre a estrutura e as propriedades desses nanocompósitos ainda é limitada, especialmente em relação à sua aplicação como materiais restauradores (JANDT e WATTS, 2020).

Foram desenvolvidos recentemente cimentos de ionômero de vidro modificados por resina nanoparticulada, também chamados de ‘nanoionômeros’. Esses materiais, como o Ketac N100 (KN) da 3M ESPE, possuem partículas de tamanho reduzido (100 nm) em comparação com os cimentos de ionômero de vidro tradicionais. Eles oferecem melhor estética, liberação de flúor e resistência ao desgaste, além de possuírem propriedades de polimento superiores. Outro exemplo é o sistema Equia, que utiliza nanocargas de sílica para conferir alta resistência ao desgaste e melhor aparência estética. Esses avanços na incorporação de nanopartículas em cimentos de ionômero de vidro modificados por resina proporcionam materiais restauradores dentários com propriedades aprimoradas e promissores para uso clínico (SHARAN et al., 2017).

A nanotecnologia também tem sido empregada no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de medicamentos. Com a utilização de nanopartículas como transportadoras de substâncias terapêuticas, é possível direcionar e liberar de forma controlada fármacos no local desejado, como na prevenção de cáries ou no tratamento de doenças periodontais (MOLINA e PALMA, 2018).

Além das aplicações diretas em materiais e tratamentos, a nanotecnologia também contribui para avanços no diagnóstico e prevenção de doenças bucais. Por exemplo, sensores nanométricos podem ser utilizados para detecção precoce de cáries, permitindo um tratamento mais eficaz. Nanopartículas também podem ser empregadas na formulação de agentes terapêuticos que combatem especificamente a placa bacteriana (MOLINA e PALMA, 2018).

Dentre as possibilidades que a nanotecnologia apresenta, algumas já se tornaram realidade, como, o cimento de ionômero de vidro modificado por resina nanoparticulada que além de possuir as propriedades químicas do ionômero de liberação de flúor, possui também, uma estética aprimorada e maior resistência (SHARAN et al., 2017).

3.2 RESINA COMPOSTA E ADESIVO DENTÁRIO NANOPARTICULADOS

QUADRO 2. Resina Composta e Adesivo Dentário Nanoparticulados

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Desempenho De União Aprimorado De Um Sistema Adesivo Odontológico Usando Nanotecnologia	NAGANO et al., (2009)	As restaurações dentárias livres de metal estão substituindo as restaurações feitas com materiais metálicos. No entanto, a durabilidade da união entre a restauração e o dente tem se tornado uma preocupação.	Duas abordagens: Abordagem Autocondicionante: e, Utilização de Inibidores de Enzimas, possibilitando novas perspectivas promissoras nos materiais odontológicos restauradores.
A Busca Por Um Reparo Dentário Biomimético Estável: Tecnologia De Resina Composta	WATTS, (2019)	Substituição do uso do amálgama dentário por resina composta aprimorando suas propriedades e desempenho clínico na odontologia restauradora, com soluções estéticas e biocompatíveis.	Criar materiais que imitem as características naturais dos dentes, proporcionando restaurações estéticas e funcionais como baixa contração, maior profundidade de cura, resistência adequada e propriedades ópticas realistas.
Avaliação Dos Efeitos Citotóxicos De Compósitos Dentários Altamente Estéticos	AYDIN et al., (2020)	Análises dos efeitos citotóxicos de resinas compostas com diferentes tamanhos de partículas. Avaliando a viabilidade celular e a segurança dessas resinas.	Busca-se aprimorar a composição química das resinas compostas, visando reduzir a toxicidade celular e promover a biocompatibilidade, desenvolvendo formulações seguras e saudáveis, garantindo propriedades de desempenho satisfatórias.

Com o surgimento de materiais que se aderem quimicamente a estrutura dentária, surgiu uma etapa de extrema importância para realização de uma restauração com excelência, tal etapa é a adesiva. Os sistemas adesivos trouxeram diversos benefícios para odontologia restauradora. Porém, ainda existem algumas adversidades clínicas, como a sensibilidade técnica, a durabilidade das ligações e a afinidade bacteriana (NAGANO et al., 2009).

A busca por materiais restauradores biomiméticos levou ao desenvolvimento de resinas compostas que simulam e imitam os tecidos dentários. Esses materiais estão sendo aprimorados para serem mais resistentes e esteticamente agradáveis, incorporando partículas adicionais. Além disso, pesquisas estão direcionadas para a criação de materiais restauradores com capacidade de auto-reparação, superando desafios como a contração da polimerização e a estabilidade do material. A biocompatibilidade, o tamanho e a carga das partículas são aspectos importantes a serem considerados para obter materiais restauradores mais miméticos e com resistência adequada. Essas abordagens promissoras podem resultar em avanços

futuros, como compósitos autoadesivos, compósitos reforçados com fibras, compósitos autorregenerativos, compósitos remineralizantes e compósitos antibacterianos, ampliando as possibilidades na área da dentística restauradora (WATTS, 2019).

Atualmente materiais altamente estéticos são utilizados em dentes anteriores e posteriores a fim de reestabelecer tecidos perdidos ou apenas deixar o sorriso mais harmonioso. Entretanto, as características físicas, mecânicas, estéticas acabam sendo mais trabalhadas e estudadas do que a própria química da resina, onde há possibilidade de efeitos citotóxicos aos tecidos dentários. Apesar desses compósitos se tornarem cada vez mais populares com o passar do tempo, existem algumas preocupações relacionadas a sua biocompatibilidade, que está diretamente ligado a liberação de substâncias e monômeros. Tais, como polimerização e dissoluções inadequadas podem causar efeito citotóxicos com o passar do tempo (AYDIN et al., 2020).

Outro avanço importante é a nanotecnologia de liberação controlada de íons, como o flúor, que pode ser incorporado às resinas compostas. Essa liberação controlada de íons auxilia na prevenção de cáries e na proteção dos tecidos dentários adjacentes. Além disso, a nanotecnologia permite a modificação da superfície das resinas compostas, tornando-as mais resistentes à aderência de bactérias e reduzindo a formação de placa bacteriana. A nanotecnologia também está sendo explorada para melhorar a adesão das resinas compostas aos tecidos dentários. O uso de nanoprimeres ou nanopartículas adesivas promove uma ligação mais estável entre a resina composta e o dente, reduzindo o risco de falhas na restauração. A aplicação da nanotecnologia nas resinas compostas tem o potencial de proporcionar um reparo biomimético estável dos dentes. A incorporação de nanopartículas, liberação controlada de íons e melhorias na adesão são algumas das abordagens promissoras que podem melhorar as propriedades estéticas, mecânicas e de longevidade das resinas compostas, aproximando-as dos dentes naturais (WATTS, 2019).

3.3 NANOPARTÍCULAS DE PRATA

QUADRO 3. Nanopartículas de Prata

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Perspectivas Para O Uso De Nanopartículas De Prata Na Prática Odontológica	GARCÍA-CONTRERAS et al., (2011)	Aplicação das nanopartículas de prata (Ag NPs) com atividade antimicrobiana, como também na melhora das características dos materiais restauradores convencionais.	Encontrar soluções que garantam a segurança desses materiais antes de sua utilização mais ampla na prática odontológica para evitar a toxicidade das nanopartículas de prata em sistemas biológicos e

			ecológicos.
Estratégias De Nanotecnologia Para Compósitos E Adesivos Antibacterianos E Remineralizantes Para Combater A Cárie Dentária	CHENG et al., (2015)	A cárie dentária é uma doença bacteriana infecciosa, que é influenciada pela dieta rica em carboidratos e representa uma das infecções bacterianas mais prevalentes na população humana.	Para combater a cárie dentária, as nanopartículas de prata estão sendo incorporadas em compósitos/adesivos devido às suas propriedades antibacterianas.
Materiais Compósitos Antimicrobianos Incorporados Em Nanomontagem Aprimorada	SCHNAIDER et al., (2019)	A incorporação de materiais compósitos antimicrobianos em nanomontagens aprimoradas tem se mostrado uma abordagem promissora. Esses materiais combinam propriedades antimicrobianas com características avançadas de nanomateriais, resultando em uma ação mais efetiva contra microrganismos patogênicos.	A incorporação de nanomontagens em resinas compostas dentais tem como objetivo criar resinas antibacterianas e biocompatíveis. Esses avanços têm potencial para melhorar a eficácia e a segurança das restaurações dentárias.
O Mecanismo Antibacteriano Das Nanopartículas De Prata E Sua Aplicação Na Odontologia	YIN et al., (2020)	O estudo menciona a utilização de nanopartículas de prata para combater microrganismos, devido às suas propriedades abrangentes de ação antibacteriana, antifúngica e antiviral.	O estudo analisa a viabilidade de adicionar nanopartículas de prata em resinas acrílicas utilizadas em próteses removíveis, materiais restauradores como a resina composta, e em materiais adesivos utilizados no tratamento ortodôntico.
Nanometais Em Odontologia Aplicações E Implicações Toxicológicas— Uma Revisão Sistemática	AGNIHOTRI, GAUR e ALBIN, (2020)	Uma das principais áreas de aplicação dos nanometais na Odontologia é como componentes de materiais restauradores, como compósitos e cimentos.	No entanto, é importante considerar as implicações toxicológicas dos nanometais na Odontologia. A interação dos nanometais com células e tecidos pode desencadear respostas inflamatórias e causar danos às células.

A utilização de nanometais na Odontologia desperta interesse devido às suas propriedades únicas e aplicações potenciais. Esses materiais em escala nanométrica apresentam alta reatividade química, maior área superficial e propriedades físicas aprimoradas, tornando-os adequados para diversas aplicações odontológicas. A adição de

nanometais, como prata, ouro e zinco, em materiais restauradores, como compósitos e cimentos, pode conferir propriedades antimicrobianas, ajudando no combate a infecções e prevenção de biofilme dental. Além disso, os nanometais são estudados como agentes de liberação controlada de medicamentos, permitindo uma administração precisa e eficaz de substâncias terapêuticas. Essa abordagem tem o potencial de melhorar a eficácia dos tratamentos odontológicos e promover a regeneração de tecidos danificados (AGNIHOTRI, GAUR e ALBIN, 2020).

As nanopartículas (NPs) têm uma relação superfície/volume mais alta por unidade de massa do que as partículas não nanométricas do mesmo material. Isso se deve à grande área de superfície das nanopartículas que leva a uma série de interações entre os materiais misturados nos nanocompósitos, entregando a propriedades especiais, como o aumento da força e/ou aumento da resistência química/térmica. Os compostos de prata exibiram atividade antibacteriana, resultando no uso generalizado de nanopartículas de prata (GARCÍA-CONTRERAS et al., 2011).

Uma das infecções bucais mais comuns que atinge a população mundial é a cárie dentária, tendo como o tratamento principal a remoção do tecido cariado e o preenchimento da cavidade com algum material restaurador. Porém, os materiais restauradores utilizados nesse tratamento tendem a ter uma afinidade bacteriana resultando em cáries secundárias nas margens destas restaurações. A nanotecnologia possibilita a adição de nanopartículas com características antibacterianas aos materiais restauradores, como as nanopartículas de prata, assim inibindo a formação de biofilmes nessa região (CHENG et al., 2015; SCHNAIDER et al., 2019).

As nanopartículas de prata são comumente colocadas em materiais odontológicos devido às suas propriedades antimicrobianas principalmente contra bactérias Gram-negativas por ‘*pitting*’⁴ na parede celular bacteriana. A prata interage com grupos sulfidrila de proteínas e com o DNA, alterando as ligações de hidrogênio, processos respiratórios, desenrolamento do DNA, síntese da parede celular e divisão celular. No nível macro, essas interações produzem efetivamente a morte bacteriana. (GARCÍA-CONTRERAS et al., 2011; JANDT e WATTS, 2020).

A prata foi incorporada em cimentos de ionômero de vidro para melhorar as propriedades antibacterianas, incluindo também resistência à compressão, resistência à tração e resistência à fluência. A nanotecnologia é um campo promissor da ciência que pode orientar

⁴ Corrosão celular, se caracteriza pela formação de pequenos poros localizados.

nossa compreensão do papel da interação interespecies no desenvolvimento de biofilmes. Com a adição em resinas e sistemas adesivos de algumas partículas, por exemplo, as nanopartículas de prata (NAg) e metacrilato de amônio quaternário (QAM), que tem alta atividade antibacteriana, é possível produzir materiais com tais características. Dessa forma, torna-se possível, inibir a formação de biofilmes nas margens dessas restaurações (GARCÍA-CONTRERAS et al., 2011; CHENG et al., 2015).

A imobilização de nanopartículas de prata em filmes de polímeros tem sido estudada para obter um efeito letal em células microbianas sem afetar as células humanas. Essas nanopartículas podem ser adicionadas a sistemas adesivos e resinas compostas odontológicas, visando combater bactérias presentes na cavidade bucal e prevenir o surgimento de cáries secundárias. Além disso, a incorporação dessas nanopartículas em adesivos e porcelana pode melhorar as propriedades mecânicas e a resistência a fraturas dos materiais odontológicos. Embora o mecanismo exato de ação antibacteriana ainda não esteja totalmente compreendido, muitos estudos estão sendo realizados para desenvolver materiais odontológicos integrados com nanopartículas de prata, buscando aprimorar suas características antibacterianas e mecânicas (YIN et al., 2020).

É importante considerar as implicações toxicológicas dos nanometais na Odontologia, uma vez que estudos têm levantado preocupações sobre sua possível toxicidade quando liberados no ambiente oral. A interação dos nanometais com células e tecidos pode desencadear respostas inflamatórias e causar danos celulares, levantando questões sobre sua segurança a longo prazo. A pesquisa em toxicologia de nanomateriais dentários tem avançado para melhor compreender os efeitos dos nanometais na saúde bucal. Estudos são conduzidos para avaliar a biocompatibilidade, citotoxicidade, genotoxicidade⁵ e potencial de acumulação dos nanometais em diferentes tecidos do organismo (AGNIHOTRI, GAUR e ALBIN, 2020).

A compreensão das implicações toxicológicas dos nanometais em Odontologia é crucial para garantir a segurança dos pacientes e profissionais de saúde. É necessário monitoramento rigoroso e regulamentação desses materiais, juntamente com estudos adicionais sobre seus efeitos a longo prazo. Os nanometais apresentam um potencial promissor na Odontologia, desde materiais restauradores até sistemas de liberação controlada de medicamentos. No entanto, é essencial avaliar as implicações toxicológicas para garantir sua segurança e eficácia clínica. A pesquisa continua avançando nessa área, visando fornecer

⁵ Refere-se à capacidade de substâncias químicas, agentes físicos ou fatores biológicos causarem danos ao material genético das células, como o DNA.

uma base sólida para o uso responsável dos nanometais na prática odontológica (AGNIHOTRI, GAUR e ALBIN, 2020).

3.4 GRAFENO E SEUS DERIVADOS

QUADRO 4. Grafeno e seus derivados

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Um Roteiro Para O Grafeno	NOVOSELOV et al., (2012)	O grafeno possui propriedades singulares que o tornam um potencial substituição para outros materiais em diversas aplicações.	Aquelas que utilizam grafeno de menor qualidade e mais barato provavelmente serão lançadas primeiro, em alguns anos. Já as aplicações que requerem maior biocompatibilidade podem levar décadas para serem desenvolvidas.
Adesivo Dental À Base De Grafeno Com Atividade Anti-Biofilme	BREGNOCCHI et al., (2017)	De acordo com os autores, os adesivos dentinários convencionais atuais apresentam afinidade bacteriana, o que pode resultar em falhas nas restaurações dentárias devido à cárie secundária.	Utilização de nanoplaquetas de grafeno, um nanomaterial hidrofóbico não tóxico com propriedades antimicrobianas e antibiofilme, como adição ao adesivo dentinário convencional.

O grafeno é um nanomaterial de carbono bidimensional com propriedades únicas, como excelente resistência mecânica e biológica. Seus derivados, como óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido, também têm efeitos estimulantes em várias células. Os nanocompósitos à base de grafeno são atraentes para regeneração de tecidos duros e podem ser combinados com outros biomateriais. Além disso, o grafeno atua como uma barreira contra corrosão e possui propriedades elétricas, químicas e de barreira. Essas características tornam o grafeno promissor para aplicações em engenharia de tecidos e medicina regenerativa (NOVOSELOV et al., 2012; SHIN et al., 2018).

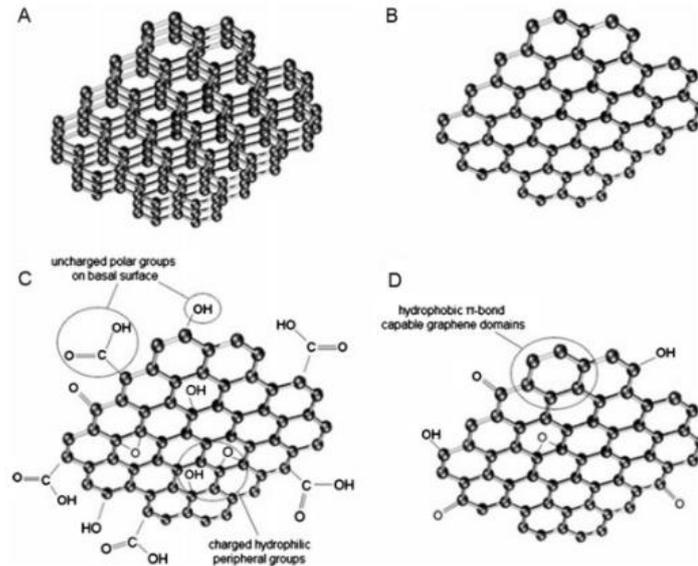


Figura 3 (BRESSAN et al., 2014, p. 02). Apresentação das formas de composição de cada derivado de grafeno nanomateriais (scaffolds). A. Grafeno em camadas. B. Nanofolhas de grafeno (FLG). C. Óxido de grafeno (GO). D. Óxido de grafeno reduzido (rGO).

O grafeno e seus derivados possuem muitas aplicações potenciais na odontologia, como pode ser visto na literatura. Devido ao seu potencial, particularmente na condução da diferenciação osteogênica de células-tronco e habilidades antibacterianas, a aplicação de nanomateriais à base de grafeno às tecnologias odontológicas existentes está sendo estudada. Além disso, o grafeno parece ser interessante como plataforma capaz de liberar moléculas terapêuticas (GUAZZO et al., 2018).

Os materiais à base de grafeno, como o óxido de grafeno (GO) e as nanoplaquetas de grafeno (GNP), demonstraram propriedades antimicrobianas e antibiofilme contra patógenos dentários. Esses materiais agem por meio de três mecanismos distintos: primeiramente, as nanoestruturas bidimensionais podem encapsular as células bacterianas, causando estresse mecânico e interferindo na absorção de nutrientes; em segundo lugar, as bordas afiadas das nanoestruturas atuam como ‘nanofacas’, perfurando e rompendo as membranas celulares; e, por fim, a geração de estresse oxidativo é outro mecanismo pelo qual os materiais à base de grafeno combatem as bactérias. É importante ressaltar que existe uma diferença crucial entre o óxido de grafeno (GO) e as nanoplaquetas de grafeno (GNP) (BREGNOCCHI et al., 2017).

Nanomateriais à base de grafeno têm propriedades antibacterianas e foram incorporados em um adesivo dental comercial, resultando em um nanocompósito de grafeno capaz de inibir o crescimento de bactérias, incluindo a *S. mutans*⁶. O grafeno danifica

⁶ *Streptococcus mutans* é uma espécie de bactéria gram-positiva, sendo considerada uma das principais bactérias causadoras de cáries dentárias, produz o ácido lático, que podem corroer o esmalte dos dentes, levando à formação de cavidades.

fisicamente os microrganismos, o que é relevante para a área odontológica, pois materiais dentários porosos podem abrigar bactérias. No entanto, a síntese em larga escala do grafeno é desafiadora devido à formação de defeitos imprevisíveis, e há preocupações sobre sua toxicidade a longo prazo, acumulação em órgãos e a falta de conhecimento dos mecanismos de toxicidade. Esses fatores limitam a aplicação clínica e a produção em larga escala do grafeno e seus derivados (GUAZZO et al., 2018).

3.5 APLICAÇÕES DO GRAFENO NA REGENERAÇÃO TECIDUAL

QUADRO 5. Aplicações do Grafeno na Regeneração Tecidual

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Efeitos De AndAIMes Baseados Em Grafeno No Comprometimento De Células-Tronco	BRESSAN et al., (2014)	A pesquisa atual na escala nano está focada no desenvolvimento de materiais que possam ser fabricados em grande volume, visando aplicações relevantes em seres humanos.	Devido à sua biocompatibilidade, baixa toxicidade e capacidade de induzir a diferenciação de células-tronco, o grafeno, tem um promissor potencial na regeneração tecidual.
Nanomateriais À Base De Grafeno Para Engenharia De Tecidos Em Odontologia	GUAZZO et al., (2018)	Nanomateriais considerados substitutos na engenharia de tecidos odontológicos são incorporados em scaffolds para regeneração tecidual, resultando em nanocompósitos com propriedades aprimoradas.	O grafeno e seus derivados várias aplicações, isso inclui implantes dentários, membranas para regeneração óssea, resinas, cimentos, adesivos e clareamento dental.
Nanocompósitos À Base De Grafeno Como Opções Promissoras Para A Regeneração De Tecidos Duros	SHIN et al., (2018)	Os tecidos podem sofrer danos por várias razões, e lesões graves podem ter impactos significativos na saúde. Por isso, são realizados esforços para tratar e reparar tecidos danificados, visando sua regeneração e restauração.	Os nanocompósitos de grafeno têm um amplo potencial na engenharia de tecidos e biomedicina regenerativa. Essas inovações têm o potencial de revolucionar os tratamentos e terapias, oferecendo soluções avançadas para regeneração e reparo de tecidos.

A família do grafeno tem sido objeto de estudos sobre suas interações biológicas, e tem sido confirmado que esses materiais podem induzir a diferenciação de células-tronco humanas em linhagens específicas. No entanto, a questão da toxicidade potencial do grafeno também é importante, tanto em aplicações biomédicas quanto em outros contextos onde

ocorrem exposições não intencionais. A pesquisa em medicina regenerativa tem se concentrado no desenvolvimento de biomateriais nanoestruturados que podem regular a diferenciação de células-tronco e promover a regeneração de tecidos. O grafeno tem sido considerado um componente ambiental que pode influenciar o comportamento celular, mostrando seu potencial como um material promissor para aplicações em medicina regenerativa (BRESSAN et al., 2014).

A regeneração tecidual é uma área de grande importância, pois a cura natural de danos graves nos tecidos é desafiadora. O grafeno, um material biocompatível de baixa toxicidade, apresenta propriedades únicas que podem melhorar dispositivos biomédicos. Sua capacidade de carga de dose o torna um potencial carreador de proteínas terapêuticas. O grafeno pode atuar como andaime para melhorar a diferenciação de células-tronco e suas formas finas, como óxido de grafeno e nanofolhas de grafeno, são ideais para induzir a formação óssea em células-tronco mesenquimais humanas. Essas propriedades excepcionais do grafeno estão impulsionando o desenvolvimento de materiais compósitos com amplas aplicações (BRESSAN et al., 2014; SHIN et al., 2018).

A regeneração de tecidos dentários é um desafio devido à complexidade e heterogeneidade dos tecidos envolvidos, como a dentina, polpa, cimento, ligamento periodontal, osso alveolar e esmalte. A Regeneração Guiada de Tecidos Dentários (RGTT) é uma abordagem baseada em células-tronco para reparar danos nesses tecidos, mas ainda está em estudo e suas vantagens e desvantagens são inconclusivas. No entanto, avanços significativos têm sido feitos na engenharia de tecidos dentários, envolvendo a interação de células-tronco com nanomateriais. Os nanomateriais têm propriedades físico-químicas e biológicas que podem promover a adesão, migração, proliferação e diferenciação celular, tornando-os interessantes para aplicações biomédicas (GUAZZO et al., 2018).

As nanofolhas de grafeno possuem excelentes características mecânicas e podem ser utilizadas como nanomateriais de reforço em polímeros ou compósitos à base de fosfato de cálcio. Os nanocompósitos à base de grafeno podem ser aplicados à regeneração óssea de várias maneiras, incluindo pós compostos, folhas, entre outros. Nanomateriais de grafeno podem ser usados em membranas de regeneração óssea guiada (GBR), podendo ser utilizado como material para o desenvolvimento de novos materiais. Uma membrana GBR ideal deve ter efeitos promotores na osteogênese e na capacidade de direcionar a regeneração óssea (SHIN et al., 2018).

A biocompatibilidade dos nanomateriais, como o grafeno, é fundamental para evitar efeitos adversos nos tecidos vivos. Além disso, é importante que as estruturas tridimensionais

porosas, como os scaffolds, sejam capazes de suportar o crescimento e a transformação de células-tronco em tecidos funcionais, sem provocar reações inflamatórias. A avaliação do potencial toxicológico dos nanomateriais à base de grafeno é influenciada por vários fatores, como concentração, forma, tamanho, dispersibilidade e funcionalização da superfície. Estudos mostraram que o óxido de grafeno (GO) apresenta maior citotoxicidade do que o grafeno reduzido (rGO), sendo a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) um dos possíveis mecanismos envolvidos. Portanto, é necessário considerar esses aspectos ao avaliar a segurança desses materiais (GUAZZO et al., 2018).

3.6 APLICAÇÕES NANOMÉRICAS NOS CIMENTOS DE IONÔMERO DE VIDRO

QUADRO 6. Aplicações Nanoméricas nos Cimentos de Ionômero de Vidro

Título	Auto (ANO)	Prevalências atuais	Possibilidades futuras
Modificações Em Cimentos De Ionômero De Vidro: Cargas Nanométricas E Nanocerâmicas Bioativas	NAJEEB et al., (2016)	O CIV (Cimento de Ionômero de Vidro) é utilizado em procedimentos odontológicos como material restaurador provisório.	O Cimento de Ionômero de Vidro (CIV) está sendo aprimorado pela incorporação de carga nanométrica, como a redução do tamanho das partículas de vidro e a introdução de biocerâmicas nanométricas. Essas modificações visam melhorar as propriedades mecânicas e a eficácia clínica do CIV na odontologia.
Efeito De Nanoestruturas Nas Propriedades De Restauradores/Cimentos Dentários De Ionômero De Vidro: Uma Revisão Narrativa Abrangente	AMIN et al., (2021)	O Ionômero de Vidro tem seus benefícios, como a atividade anticariogênica proporcionada pelo flúor. Porém com propriedades mecânicas limitadas.	Explorar o uso de nanopartículas metálicas, poliméricas, inorgânicas e à base de carbono para aprimorar as propriedades mecânicas e gerais do Ionômero de Vidro.
Incorporação De Nanomateriais Em Cimentos De Ionômero De Vidro - Desenvolvimentos Recentes E Perspectivas Futuras: Uma Revisão Narrativa	FIERASCU, (2022)	O CIV é amplamente aplicado devido às suas vantagens como biocompatibilidade, liberação de flúor e excelentes propriedades de adesão. Entre as desvantagens que limitam a aplicação de CIVs, as	A incorporação de nanomateriais no CIV na odontologia como nanopartículas de sílica, óxido de zinco e prata, são explorados para melhorar as propriedades dos CIVs, como resistência

		propriedades mecânicas ruins são as mais significativas.	mecânica, liberação de íons, ação antimicrobiana e características ópticas.
--	--	--	---

Os cimentos de iônomo de vidro possuem extrema importância e utilização dentro da Odontologia há um longo período, pois possuem características vantajosas, como biocompatibilidade, liberação de flúor e adesão. Por isso, acaba por ser utilizado em diversos tipos de restaurações, inclusive a terapia restauradora atraumática. Isso ocorre, pois ao realizar a remoção seletiva de cárie e aplicar o CIV pode ocorrer uma remineralização terapêutica dos tecidos. Entretanto, desvantagens como a baixa resistência mecânica limitam o uso desse material, tornando a aplicação da nanotecnologia uma estratégia viável para mudança desse quadro (NAJEEB et al., 2016; FIERASCU, 2022).

Estudos mostram que a utilização de nanopartículas de vidro já agrega melhorias a esse material. Dentre essas melhorias, está a diminuição no tempo de presa, facilitando a manipulação e manuseio do CIV. Somado a isso, o aprimoramento das propriedades físicas e mecânicas, aumentando a vida útil desse material, visto que virá a suportar de melhor forma as forças mastigatórias (NAJEEB et al., 2016).

Fierascu (2022) verificou que a aplicação de nanopartículas metálicas, como a de cobre e a de prata, podendo elas serem somados ao metronidazol ou não, promoveram aumentos consideráveis no controle antibacteriano do CIV e, evolução significativa na resistência compressiva. Porém uma preocupação seria relacionada ao efeito tóxico das nanopartículas metálicas, mas o estudo também mostrou que foram exercidas pouca ou nenhuma atividade citotóxica ao CIV.

Além disso, essa aplicação tende a promover uma redução no surgimento de cáries secundárias por conta das propriedades das nanopartículas de prata. Assim, podendo esse materiais serem considerados no uso para restaurações posteriores permanentes, por sugerir uma maior duração clínica (AMIN et al., 2021).

Estudos também mostram que outra classe que possuem boa capacidade antibacteriana são os óxidos metálicos, como os de cobre, zinco, prata ou titânio. Por sua vez, esses também acabaram por ser utilizados na tentativa de melhoria do Cimento de Ionômero de Vidro, e também, apresentaram resultados positivos, por exemplo, o aumento na resistência de compressão e flexão, além de, não ter sido observado citotoxicidade dessas nanopartículas (FIERASCU, 2022).

Najeeb et al., (2016) mostrou que por sua semelhança com o tecido dentário faz com que a hidroxiapatita e outras variantes da apatita sejam bastante utilizadas na Odontologia. Visto isso, sua aplicação mostrou melhoria nas resistências à compressão, tração e flexão do cimento endurecido. Além disso, aumenta a cristalinidade do CIV, tratando a questão da estabilidade química e a solubilidade em água. Por fim, é esperado que a incrementação de nano partículas de apatita aprimorem a questão da ligação a estrutura do dente.

O grafeno é considerado uma opção promissora devido às suas propriedades mecânicas, estabilidade química, biocompatibilidade e capacidade antibacteriana. Estudos mostraram que sua aplicação como substrato para nanopartículas de prata e em combinação com cimento de ionômero de vidro resultou em redução significativa do crescimento de bactérias, além de aumento leve na microdureza superficial e resistência à flexão. A adição de grafeno fluoretado ao cimento de ionômero de vidro também levou ao aumento da resistência à compressão, resistência à flexão, microdureza e propriedades tribológicas. Essas melhorias foram alcançadas sem comprometer a cor, solubilidade e propriedades de liberação de íons de flúor do material (AMIN et al., 2021).

A funcionalização de cimentos de ionômero de vidro com grafeno fluorado não é útil apenas para inibir o crescimento bacteriano, mas também para melhorar as propriedades mecânicas dos cimentos. Aumenta a microdureza e a resistência à compressão e diminui o coeficiente de atrito, todos parâmetros importantes para os cimentos (GUAZZO et al., 2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a aplicação da nanotecnologia nos materiais odontológicos restauradores apresenta possibilidades promissoras tanto na atualidade quanto no futuro. A utilização de nanoestruturas e nanopartículas, oferecem características mecânicas superiores, maior biocompatibilidade e capacidade de induzir a regeneração dos tecidos dentais. Isso representa um avanço significativo na odontologia moderna, permitindo a criação de restaurações dentárias mais duráveis, estéticas e funcionais.

Atualmente, já é possível observar os benefícios da nanotecnologia na melhoria dos materiais odontológicos restauradores, proporcionando resultados clínicos mais satisfatórios e duradouros. Esses materiais são capazes de resistir às forças mastigatórias, minimizar o desgaste e a deterioração ao longo do tempo, e apresentar uma adaptação mais precisa às estruturas dentais.

Olhando para o futuro, as possibilidades são ainda mais empolgantes. Com a contínua evolução da nanotecnologia, podemos esperar o desenvolvimento de materiais ainda mais

avançados, capazes de estimular a regeneração dos tecidos dentais danificados e restaurar a funcionalidade e a estética dos dentes de forma mais natural. Além disso, a nanotecnologia pode abrir caminho para o desenvolvimento de terapias regenerativas personalizadas, adaptadas às necessidades específicas de cada paciente.

No entanto, é importante ressaltar que mais pesquisas são necessárias para explorar completamente o potencial da nanotecnologia nos materiais odontológicos restauradores. Questões relacionadas à segurança, padronização e viabilidade clínica devem ser cuidadosamente investigadas. Com o avanço contínuo da ciência e o investimento em pesquisas nessa área, a nanotecnologia tem o potencial de revolucionar a odontologia restauradora, melhorando a qualidade de vida dos pacientes e elevando os padrões de tratamento odontológico.

REFERÊNCIAS

AGNIHOTRI, R.; GAUR, S.; ALBIN, S. Nanometals in Dentistry: Applications and Toxicological Implications - A Systematic Review. **Biological research of trace elements**. 2020.

AMIN, F.; RAHMAN, S.; KHURSHID, Z.; ZAFAR, M. S.; SEFAT, F.; KUMAR, N. Effect of Nanostructures on the Properties of Glass Ionomer Dental Restoratives/Cements: A Comprehensive Narrative Review. **Materials**. Arábia Saudita. 2021.

AYDIN, N.; KARAOĞLANOĞLU, S.; OKTAY, E. A.; SÜLOĞLU, A. K. Evaluating Cytotoxic Effects of Highly Esthetic Dental Composites. **Brazilian Dental Science**. São José dos Campos, São Paulo. 2020.

BREGNOCCHI, A.; ZANNI, E.; UCCELLETTI, D.; MARRA, F.; CAVALLINI, D.; ANGELIS, F.; BELLIS, G.; BOSSÚS, M.; IERARDOS, G.; POLIMENI, A.; SARTO, M. S. Graphene-based dental adhesive with anti-biofilm activity. **Nanobiotechnology Journal**. Roma, Itália. 2017.

BRESSAN, E.; FERRONI, L.; GARDIN, C.; SBRICOLI, L.; GOBBATO, L.; LUDOVICHETTI, F. S.; TOCCO, I.; CARRARO, A.; PIATTELLI, A.; ZAVAN, B. Graphene based scaffolds effects on stem cells commitment. **Journal of Translational Medicine**. Itália. 2014.

CHENG, L.; ZHANG, K.; WEIR, M. D.; MELO, M. A. S.; ZHOU, X.; XU, H. H. Nanotechnology strategies for antibacterial and remineralizing composites and adhesives to tackle dental caries. **Nanomedicine**. Londres. 2015.

FIERASCU, R. C. Incorporation of Nanomaterials in Glass Ionomer Cements—Recent Developments and Future Perspectives: A Narrative Review. **Nanomaterials**. Bucareste, Romênia. 2022.

GARCÍA-CONTRERAS, R.; ARGUETA-FIGUEROA, L.; MEJÍA-RUBALCAVA, C.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, R.; CUEVAS-GUAJARDO, S.; SANCHEZ-REYNA, P. A.; MENDIETA-ZERON, H. Perspectives for the use of silver nanoparticles in dental practice. **International Dental Journal**. México. 2011.

GUAZZO, R.; GARDIN, C.; BELLIN, G.; SBRICOLI, L.; FERRONI, L.; LUDOVICHETTI, F. S.; PIATTELLI, A.; ANTONIA, C. I.; BRESSAN, E.; ZAVAN, B. Graphene-based nanomaterials for tissue engineering in dentistry. **Nanomaterials Journal**. Basileia, Suíça. 2018.

HANNIG, M.; HANNIG, C. Nanomaterials in preventive dentistry. **Nature nanotechnology**. Dresden, Alemanha. 2010.

JANDT, K. D.; WATTS, D. C. Nanotechnology in dentistry: current and future perspectives on dental nanomaterials. **Dental materials**. Jena, Alemanha. 2020.

MOLINA, G. F.; PALMA, S. D. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. **Revista Methodo: Investigación Aplicada a las Ciencias Biológicas**. Córdoba, Argentina. 2018.

NAGANO, F.; SELIMOVIC, D.; NODA, M.; IKEDA, T.; TANAKA, T.; MIYAMOTO, Y.; KOSHIROU, K.; SANOUA, H. Improved bond performance of a dental adhesive system using nano-technology. **Bio-Medical Materials and Engineering**. Japão. 2009.

NAJEEB, S.; KHURSHID, Z.; ZAFAR, M. S.; KHAN, A. S.; ZOHAIB, S.; MARTÍ, J. M. N.; SAURO, S.; REHMAN, J. P. M. I. U. Modifications in Glass Ionomer Cements: Nano-Sized Fillers and Bioactive Nanoceramics. **International Journal of Molecular Sciences**. Arábia Saudita. 2016.

NOVOSELOV, K.; FALKO, V.; COLOMBO, L.; GELLERT, P. R.; SCHWAB, M. G.; KIM, K. A roadmap for graphene. **Nature Review**. 2012.

SCHNAIDER, L.; GHOSH, M.; BYCHENKO, D.; GRIGORIAN, I.; YA'ARI, S.; ANTSEL, T. S.; MATALON, S.; SARIG, R.; BROSH, T.; PILO, R.; GAZIT, E.; ABRAMOVICH, L. A. Enhanced Nanoassembly-Incorporated Antibacterial Composite Materials. **ACS Appl Mater Interfaces**. Washington. 2019.

SHARAN, J.; SINGH, S.; LALE, S. V.; MISHRA, M.; KOUL, V.; KHARBANDA, O. P. Applications of Nanomaterials in Dental Science: A Review. **Journal Nanosci. Nanotechnol.** Índia. 2017.

SHIN, Y. C.; SONG, S. J.; JEONG, S. J.; KIM, B.; KWON, K. I.; HONG, S. W.; OH, J. W.; HAN, D. W. **Graphene-based nanocomposites as promising options for hard tissue regeneration**. Cutting-edge technologies for regenerative medicine, p. 103-117. Busan, Coréia do Sul. 2018.

WATTS D. C. The quest for stable biomimetic tooth repair: Resin technology composed. **Dental Materials Journal**. Manchester, Reino Unido. 2019.

YIN, I. X.; ZHANG, J.; ZHAO, I. S.; MEI, M. L.; LI, Q.; CHU, C. H. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. **International Journal of Nanomedicine**. Hong Kong, China. 2020.