



CESPU
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Avaliação do efeito da incorporação de dióxido de titânio no desempenho mecânico das resinas compostas

Revisão sistemática integrativa

Lorena Pérez Varela

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

—

Gandra, maio de 2024

Lorena Pérez Varela

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina
Dentária (Ciclo Integrado)**

**Avaliação do efeito da incorporação de dióxido de titânio no
desempenho mecânico das resinas compostas
Revisão sistemática integrativa**

Trabalho realizado sob a Orientação de
Prof. Doutor Mário Barbosa

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, acima identificada, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo seu constante apoio emocional e financeiro. Seu sacrifício foi uma fonte inspiração pra min e permitiu-me perseguir as minhas metas.

Ao meu companheiro de vida, Alfonso, que sempre me apoiou e creu em min, durante as minhas ausências ele fez, ao mesmo tempo, os papeis de pai e mãe.

As minhas filhas, Alejandra e Valentina, pois elas são o motor da minha vida, espero ser um bom exemplo para elas e que tenham aprendido que os esforços traem recompensas.

A pessoa que conseguiu com a sua paixão pela odontologia, que eu me namorara desta profissão, o Doutor Rafael Piñeiro, por ele é que estou aqui.

As minhas companheiras de trabalho, que me fazem a vida mais fácil durante as jornadas. A todos os meus colegas que me acompanharam ao longo destes anos, graças a eles foi mais fácil manter a constância e vir para a sala de aulas com mais entusiasmo. Em especial a Laura e a Belen, que estiveram sempre dispostas a ouvir minhas ideias e a ajudar-me quando mais precisei.

Ao meu orientador, o Prof. Doutor Mário Barbosa pelo seu tempo, amabilidade, experiencia e conselhos ao longo desta tesse. Foi um privilégio poder contar com a sua ajuda.

RESUMO

Introdução:

A adição de dióxido de titânio (TiO_2) na carga inorgânica das resinas compostas tem como objetivo de diminuir a carga bacteriana peri-restauração. No entanto não é claro que a adição de óxidos metálicos provoque alterações das características mecânicas das resinas compostas.

Objetivo: Avaliar se a adição de dióxido de titânio com efeito antibacteriano afeta as propriedades mecânicas das resinas compostas.

Materiais e métodos: Foi realizada uma pesquisa na base de dados de Pubmed, artigos publicados entre 2014 e 2024.

Resultados: Foram identificados 56 artigos, dos quais 9 foram selecionados para este estudo.

Discussão: O efeito que lhe proporciona a adição de TiO_2 às resinas compostas foi analisado em cada um dos artigos, resultando que com a incorporação de nanopartículas de TiO_2 as propriedades mecânicas da resina composta foram significativamente melhoradas.

Conclusões: A incorporação de nanopartículas de TiO_2 com efeito antibacteriano contribui para uma melhoria nas propriedades mecânicas das resinas compostas. Estudos *in vivo* são necessários para poder concluir que estas resinas sejam um material de preenchimento ideal para a restauração de carie e tenham amplas perspectivas para aplicações clínicas.

Palavras chave: *composite resins, titanium dioxide, properties, performance e mechanical properties.*

ABSTRACT

Introduction:

The addition of titanium dioxide (TiO₂) to the inorganic filler of composite resins aims to reduce the bacterial load. However, it is not clear that the addition of metal oxides causes changes in the mechanical characteristics of composite resins.

Objective: To evaluate whether the addition of titanium dioxide with antibacterial effect affects the mechanical properties of composite resins.

Materials and methods: The search was carried out in the Pubmed database, articles published between 2014 and 2024.

Results: 56 articles were identified, of which 9 were selected for this study.

Discussion: The effects provided by the addition of TiO₂ to composite resins were analyzed in each of the articles, with the result that with the incorporation of TiO₂ nanoparticles the mechanical properties of the composite resin were significantly improved.

Conclusions: The incorporation of TiO₂ nanoparticles with antibacterial effect contributes to an improvement in the mechanical properties of composite resins. In vivo studies are necessary to conclude that these resins are an ideal filling material for caries restoration and have broad prospects for clinical applications.

Keywords: *composite resins, titanium dioxide, properties, performance and mechanical properties.*

ÍNDICE:

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	3
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3.1	Fontes de informação e estratégia de pesquisa	5
3.2	Processo de seleção dos estudos e coleta de dados	5
4.	RESULTADOS.....	7
5.	DISCUSSÃO.....	15
6.	CONCLUSÃO	19
7.	BIBLIOGRAFIA	21

Índice de Figuras

Figura 1 – Diagrama de fluxo PRISMA **Error! Bookmark not defined.**

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de Resultados.....	9
---	----------

ABREVIATURAS :

APTMS: 3-(aminopropil) trietoxissilano

DC: grau de conversão

e-FC: compósitos fluidos experimentais

GC-E: compósito fluido comercial

IMC/BF4: 1-n-tetrafluoroborato de butil-3-metilimidazólio

KHN: microdureza Knoop

MA: ácido metacrílico

Nb₂O₅: pentóxido de nióbio

NF: fluor e nitrogênio

NPs.: nanopartículas

RC.: resina composta

R_pmax: taxa máxima de polimerização

TiO₂ dióxido de titânio

TSMPM: 3-(trimetoxissilil) propil metacrilato

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos dentários são materiais versáteis cujo uso continua a crescer desde a sua introdução na profissão, há mais de 50 anos. O uso desses materiais, com uma ampla gama de variações, tem uma elevada exigência quanto às suas propriedades físicas. O contínuo desenvolvimento destes materiais com melhores características é evidenciada pela introdução contínua de novos produtos no mercado. ⁽¹⁾

Está bem documentado que as propriedades mecânicas dos compósitos de resina são significativamente influenciadas pela morfologia das partículas de carga, amplitude de calibres e concentração. ⁽²⁾

Além disso, a hidrólise associada à formação de biofilme bacteriano nas restaurações de resina composta, provoca a longo prazo a degradação da superfície e nas zonas de união dente/resina causando cáries secundárias. ⁽³⁾

Uma das estratégias para melhorar as propriedades das resinas compostas é o uso da nanotecnologia pelo potencial em modificar significativamente as propriedades da matriz polimérica. ⁽⁴⁾ O dióxido de titânio (TiO_2) é uma molécula que tem sido usado na incorporação em materiais odontológicos por ser hidrofílico, ter estabilidade química e biocompatibilidade. ⁽⁵⁾ Simultaneamente quando incorporado na matriz inorgânica dos compósitos verificou-se que apresenta uma ação antibacteriana com capacidade de diminuir a carga bacteriana e a infiltração marginal.

2. OBJETIVO

Avaliar se a adição de dióxido de titânio com efeito antibacteriano afeta as propriedades mecânicas das resinas composta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Fontes de informação e estratégia de pesquisa

Uma busca eletrônica foi realizada na base de dados PubMed usando as seguintes expressões de pesquisa: “composite resins” and “titanium dioxide”; “composite resins” and “titanium dioxide” and “performance”; “composite resins” and “titanium dioxide” and “properties”; “composite resins” and “titanium dioxide” and “mechanical properties”. Os critérios de inclusão envolveram artigos publicados em língua inglesa no período de janeiro de 2014 até janeiro de 2024 reportando estudos sobre as resinas compostas contendo dióxido de titânio. Os filtros utilizados para as pesquisas de artigos envolveram estudos experimentais, estudos *in vitro* e ensaios clínicos randomizados. Os critérios de exclusão foram: artigos focando apenas na adição de TiO₂ a cimentos resinosos, adesivos ou resinas para próteses.

3.2 Processo de seleção dos estudos e coleta de dados

Os estudos recuperados no processo de pesquisa foram avaliados em três etapas. O total de artigos foi compilado para cada combinação de termos-chave e, portanto, os duplicados foram removidos usando o gerenciador de citações Mendeley (Elsevier BV). Os estudos foram digitalizados principalmente quanto à relevância por título, e os resumos daqueles que não foram excluídos nesta fase foram avaliados. A segunda etapa compreendeu a avaliação dos resumos e artigos não excluídos, de acordo com os critérios de elegibilidade na avaliação dos resumos.

Uma avaliação preliminar dos resumos foi realizada para determinar se os artigos atendiam ao objetivo principal do estudo. Os artigos selecionados foram lidos individualmente e avaliados em relação ao objetivo deste estudo.

A questão PICO foi ajustada para a questão onde “P” foi relacionado à resina composta enquanto “I” se referiu ao reforço com TiO₂ das RC, enquanto “C” foram as resinas compostas sem reforço com TiO₂ e, usando o “O” para as propriedades mecânicas das resinas.

4. RESULTADOS

A busca inicial por cada combinação de termos-chave na base de dados disponíveis rendeu um total de 56 estudos, dos quais 21 duplicados foram eliminados. Do remanescente, 35 estudos, os títulos e resumos foram lidos buscando concordância com os critérios de inclusão do presente estudo e então 24 estudos foram descartados por não coincidir com os interesses relacionados com o tema. A avaliação dos títulos e resumos resultou na seleção de 11 artigos potenciais, dos quais 2 foram excluídos por falta de dados relevantes. Além dos artigos selecionados, foram adicionados 4 artigos manualmente para suporte no texto introdutivo.

Os resultados da seleção dos estudos são apresentados na Figura 1.

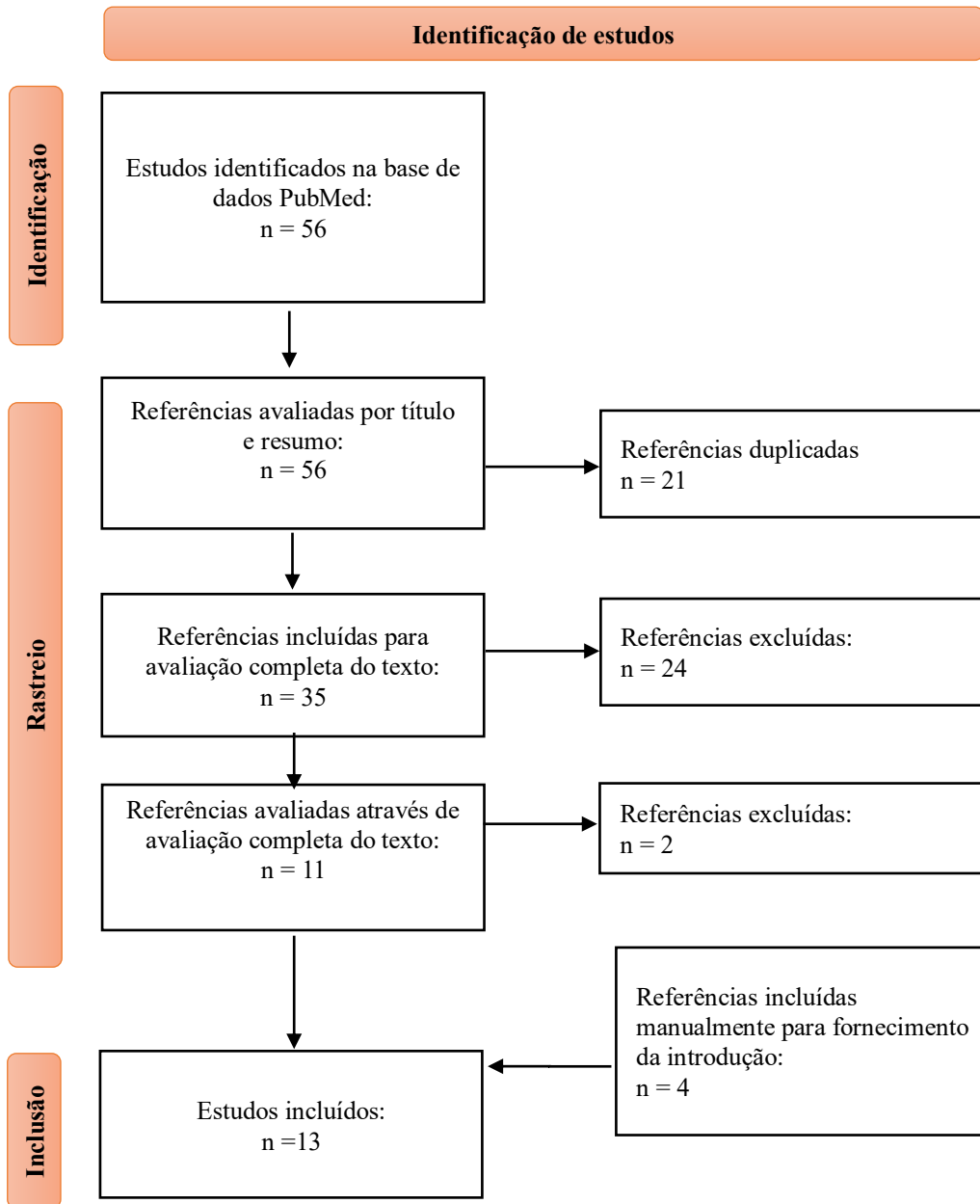


Figura 1: Diagrama de fluxo PRISMA.

Tabela 1 - Tabela de Resultados

TÍTULO AUTOR	TIPO DE ESTUDO/ ANO	AMOSTRA E POPULAÇÃO	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Dióxido de titânio e dióxido de titânio modificado por enchimento anti-biofilme conteúdo para resinas compostas Hércules Bezerra Dias e outros	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2018	N ^o da amostra: (discos de resina composta de 4mm de diâmetro por 8 mm de altura) (n=40): para avaliar a resistência à compressão e à tração diametral (n=25): para o grau de conversão (n=50): para a rugosidade superficial Grupo I: Resinas Filtek TM Z350XT Grupo II: Resinas Filtek TM Z350XT modificadas com TiO ₂ /Ag	Avaliar a atividade antibacteriana de uma resina composta modificada por TiO ₂ e TiO ₂ /Ag nanopartículas e sua influência em diferentes propriedades. Além, foram avaliadas a resistência à compressão e à tração diametral, o grau de conversão e a rugosidade superficial	A inclusão de 2% de NPs de TiO ₂ /Ag diminuiu significativamente a acumulação de biofilme de <i>S. mutans</i> na superfície da resina composta em comparação As NPs de TiO ₂ tratadas com organossilano aumentaram a resistência à compressão da resina composta.	A inclusão de TiO ₂ puro e modificado com Ag na resina composta pode diminuir a formação de biofilme de <i>S. mutans</i> sobre a superfície da resina composta bem como permitir uma melhoria das propriedades mecânicas.
O efeito do reforço funcionalizado de nanotubos de dióxido de titânio nas propriedades de sorção e solubilidade em água de resinas compostas fluidas de enchimento a granel Mustafa Kutay Karaca e outros	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2021	N ^o da amostra: (barras de resina composta de 8mm de diâmetro por 2 mm de espessura) (n=120) Grupo I: resinas sem nanotubos de TiO ₂ Grupo II: resinas reforçadas com 1,0% em peso de nanotubo de dióxido de titânio funcionalizado.	Investigar os efeitos da adição de nanotubos de dióxido de titânio na sorção de água e nos valores de solubilidade em água de diferentes resinas compostas.	Nenhum dos materiais testados neste estudo excedeu os valores máximos de sorção e solubilidade estabelecidos pela ISO. Quanto à solubilidade em água foram obtidos valores negativos.	
Avaliação Comparativa das Propriedades Mecânicas de Nanopartículas de Dióxido de Titânio Incorporadas em Resina Composta como Material Restaurador de Núcleo Dhanasekaran Sihivahanan e outros	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2021	N ^o da amostra: (barras de resina composta de 25x2x2 mm) (n=10): para avaliar a resistência à compressão (n=10): resistência à tração diametral (n=10): resistência à flexão Grupo I: Resina composta experimental com 2,5% de cargas de TiO ₂ Grupo II: everX Flow (GC EUROPE) Grupo III: MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent).	Comparar e avaliar as propriedades mecânicas de nanopartículas de dióxido de titânio a 2,5% (TiO ₂ NP) incorporado como carga em resina composta experimental com everX Flow e MultiCore Flow	A resina composta experimental apresentou resistência à compressão, resistência à tração diametral e resistência à flexão relativamente altas. Comparando com MultiCore Flow, o everX Flow apresentou fortes propriedades mecânicas.	As nanopartículas de TiO ₂ a 2,5% incorporadas numa resina composta experimental demonstrou propriedades mecânicas superiores em comparação com os materiais convencionais.
Propriedades mecânicas e antibacterianas de um compósito fluido experimental contendo	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i>	N ^o da amostra: (barras de resina composta de 25x2x2mm) (n=12): para avaliar a resistência à flexão (n=12): para módulo de flexão	Avaliar as características mecânicas e antibacterianas de compósitos fluidos	O grupo NF_ TiO ₂ 1,5% apresentou maior resistência à flexão e módulo de flexão comparativamente com os grupos controlo.	A incorporação de 1,5% de NF_ TiO ₂ promoveu maior resistência à flexão e módulo de flexão entre os compósitos experimentais e a

TÍTULO AUTOR	TIPO DE ESTUDO/ ANO	AMOSTRA E POPULAÇÃO	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Nb₂O₅ e NF_TiO₂ nanopartículas Letícia Vasconcelos Silva Souza e outros	2023	(n=10): para a microdureza (n=10): para a rugosidade superficial (n=10): para o contato de ângulo Compósito fluido experimental (TEGDMA + BisGMA 1:1 + 60% em peso - carga inorgânica - borossilicato 0,7 µm) formulado de acordo com o tipo e concentração de Nb ₂ O ₅ e NF_TiO ₂ (0,5, 1, 1,5 e 2% em peso) ou NF_TiO ₂ + Nb ₂ O ₅ (0,25, 0,5, 0,75 e 1% em peso - 1:1). Grupo controlo: compósito experimental sem incorporação de Nb ₂ O ₅ e/ou NF_TiO ₂ (GC-E) e um compósito fluido comercial.	experimentais (e-FC) contendo diferentes concentrações de NF_TiO ₂ e Nb ₂ O ₅ nanopartículas, combinadas ou não.	O grupo controlo apresentou maior microdureza. Não houve diferença entre os grupos experimentais quanto ao ângulo de contato e rugosidade, exceto para o grupo controlo, que apresentou valores superiores de rugosidade e o menor ângulo de contato. Compósitos contendo 0,5%, 1%, 1,5% e 2% de Nb ₂ O ₅ , 1%, 1,5% e 2% de NF_TiO ₂ e 2% de Nb ₂ O ₅ + NF_TiO ₂ apresentaram menor formação de biofilme, menor biomassa total de biofilme e uma percentagem maior de células mortas do que os grupos controlo.	adição de partículas de Nb ₂ O ₅ , NF_TiO ₂ e a combinação Nb ₂ O ₅ + NF_TiO ₂ apresentou efeitos antibacterianos significativos.
Reforço de compósitos dentários fluidos com nanotubos de dióxido de titânio Manal O. Dafar e outros	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2016	Nº da amostra: (discos de resina composta de 5 mm de diâmetro por 2 mm de espessura para avaliar o módulo de Young Dinâmico e prismas triangulares de 6x6x6 mm para avaliar a resistência à fratura) (n=3): para avaliar o módulo de Young (n=8): para a resistência à fratura Nanotubos de TiO ₂ sintetizado usando um processo hidrotérmico alcalino e depois funcionalizado com silano ou ácido metacrílico (MA).	Avaliar os efeitos da modificação superficial do n- TiO ₂ na sua capacidade de reforçar um compósito dentário fluido disponível comercialmente. Diferentes porcentagens em peso de n- TiO ₂ (0–5%) foram incorporados ao FiltekMTRestaurador Supremo Ultra Fluido (3M ESPE). Investigamos o módulo de Young dinâmico, tenacidade à fratura, fluidez, radiopacidade e citotoxicidade dos materiais resultantes.	Todos os compósitos reforçados exibiram valores significativamente superiores de módulo de Young Dinâmico do que os compósitos não reforçados. Os compósitos reforçados com 3% em peso de n- TiO ₂ exibiram os valores mais elevados de módulo de Young Dinâmico e resistência à fratura. Ensaios de citotoxicidade revelaram que os compósitos reforçados são biocompatíveis.	Compósitos fluidos reforçados com TiO ₂ são materiais promissores para restaurações dentárias.
Efeito da adição de TiO funcionalizado2 nanotubos e nanopartículas nas propriedades	Teste controlado	Nº da amostra: (discos de resina composta de 6 mm de diâmetro por 1 mm de espessura)	Avaliar a influência da adição de TiO ₂ funcionalizado e não	A análise termogravimétrica demonstrou que as funcionalizações foram eficazes para ambas as nanoestruturas.	A resina com nanotubos de 0,3% em peso-TSMPM apresentou maior grau de conversão após 24 horas,

TÍTULO AUTOR	TIPO DE ESTUDO/ ANO	AMOSTRA E POPULAÇÃO	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSÃO
de resinas compostas experimentais Genine Moreira de Freitas Guimarães e outros	aleatório <i>in vitro</i> 2020	(n=5): para avaliar o grau de conversão (DC) (n=5): para a microdureza Knoop (KHN) e amolecimento em etanol Nanoestruturas de TiO ₂ produzidas utilizando 3-(aminopropil)trióxissilano (APTMS) e 3-(trimetoxissilil)propil metacrilato (TSMPM) Grupo controlo: resina composta sem nanoestruturas	funcionalizado nanoestruturas nas propriedades de uma resina composta.	Para o grau de conversão (DC), para as resinas compostas, o efeito do tempo e da interação foram significativos. Maior DC foi observado para nanotubos funcionalizados com 0,3% em peso às 24 h. Para a microdureza Koop (KHN), os compósitos de resina, o amolecimento do etanol e o efeito de interação foram significativos. A KHN diminuiu após o amolecimento etanol em todos os grupos, exceto para nanotubos de 0,3% em peso-TSMPM, nanotubos de 0,9% em peso-TSMPM e 0,3% em peso de nanopartículas não funcionalizadas.	sendo o material mais estável após o amolecimento com etanol.
Efeito do formato das nanocargas de dióxido de titânio nas propriedades dos compósitos odontológicos P. Nayak e outros	Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2023	Nº da amostra: (discos de resina composta de 25x2x2 para avaliar a resistência à flexão e de 3 mm de diâmetro por 2 mm de altura para avaliar a resistência ao cisalhamento) (n=10): para avaliar a resistência à flexão (n=10): para a resistência ao cisalhamento, estes discos foram colados na parte coronal de dentes pré-molares humanos saudáveis. Grupo I: compósitos fluidos contendo nanocargas esféricas de TiO ₂ a 0,5% e 1,5% em peso. Grupo II: compósitos fluidos contendo nanocargas rômbricas de TiO ₂ a 0,5% e 1,5% em peso. Grupo controlo: compósito fluido sem nanocarga	Avaliar o efeito da morfologia das nanocargas de dióxido de titânio na resistência à flexão e ao cisalhamento do compósito dentário.	A incorporação de nanocargas melhorou significativamente a resistência à flexão do compósito fluido com um aumento significativo de 0,5% em peso das cargas esféricas e em formato romboidal. No entanto, não foi observada diferença estatisticamente significativa na resistência à flexão foi entre os diferentes formatos de nanocargas.	Foi confirmada a capacidade de reforço das nanocargas de dióxido de titânio no compósito dentário, embora o efeito do uso de nanocargas com diferentes morfologias não tenha sido significativo.

<p>Efeito da incorporação de nanopartículas de TiO nas propriedades antibacterianas e na resistência ao cisalhamento de compósitos odontológicos utilizados em Ortodontia Ahmad Sodagar e outros</p>	<p>Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2017</p>	<p>Nº da amostra: 48 incisivos bovinos intactos foram divididos em 4 grupos: Grupo I: (n=12) colagem de braquetes ortodônticos de aço inoxidável com compósito contendo 1% NPs de TiO₂ Grupo II: (n=12) colagem de braquetes ortodônticos de aço inoxidável com compósito contendo 5% NPs de TiO₂ Grupo III: (n=12) colagem de braquetes ortodônticos de aço inoxidável com compósito contendo 10% NPs de TiO₂ Grupo controle: (n=12) colagem de braquetes ortodônticos de aço inoxidável com compósito contendo 0% NPs de TiO₂</p>	<p>Avaliar as propriedades antimicrobianas e mecânicas de resinas compostas modificadas pela adição de NPs de TiO.</p>	<p>Todas as concentrações das NPs de TiO (1%, 5% e 10%) provocaram uma diminuição da contagem do número de colônias de <i>S. mutans</i> e <i>S. sanguinis</i>. A concentração de 10% teve o maior a redução mais significativa. O valor médio de resistência ao cisalhamento foi observado no grupo controle (0% NPs de TiO) e o mais baixo no grupo 10% NPs de TiO.</p>	<p>A incorporação de nanopartículas de TiO₂ em resinas compostas confere propriedades antibacterianas aos adesivos, e o cisalhamento do compósito contendo 1% e 5% de NPs de TiO está em uma faixa aceitável.</p>
<p>Um composto de resina dentária multifuncional com TiO dopado com Sr-N2e enchimentos n-HA para efeitos antibacterianos e de mineralização Yuanhang Zhao e outros</p>	<p>Teste controlado aleatório <i>in vitro</i> 2023</p>	<p>Nº da amostra: (cilindros de resina composta de 4 mm de altura por 10 mm de espessura) Grupo I: (n=5) resina composta contendo Sr-N- TiO₂ a 2,5 % Grupo II: (n=5) resina composta contendo Sr-N- TiO₂ a 5 % Grupo III: (n=5) resina composta contendo Sr-N- TiO₂ a 7,5 % Grupo controle: (n=5) resina composta sem nanopartículas.</p>	<p>Sintetizar um Sr-N- TiO₂ compósito através de uma abordagem sol-hidrotérmica e misturá-lo com HA como preenchedores para modificar as resinas compostas dentárias (DRCs), explorando eventualmente o potencial de aplicação das DRCs multifuncionais na área odontológica.</p>	<p>A profundidade de polimerização do composto de resina dentária foi $4,36 \pm 0,18$ mm a $5,10 \pm 0,19$ mm, o que atendeu às necessidades do tratamento clínico. A taxa antibacteriana máxima contra <i>Streptococcus mutans</i> (<i>S. mutans</i>) foi de 98,96%. A taxa de crescimento relativo do fibroblasto L929 de camundongo indicou uma alta biocompatibilidade, com um nível de citotoxicidade de 0 ou I.</p>	<p>O composto Sr-N- TiO₂ e n-HA é um material de preenchimento ideal para restauração de cárie e tem amplas perspectivas para aplicações clínicas.</p>

5. DISCUSSÃO

Compósitos reforçados utilizados como materiais restauradores proporcionam uma excelente combinação mecânica com a estrutura dentária. A resistência à fratura é uma das propriedades mecânicas mais importantes para os materiais dentários, a qual é definida como a energia absorvida pelo material antes da fratura devido à propagação da trinca. Dafar *et al* enfatizaram a importância do tratamento de superfície dos nanotubos de titânio para melhorar a compatibilidade com as matrizes resinosas e avaliaram o efeito da funcionalização de superfícies de nanotubos de titânio (silano e metacrilato) nas propriedades mecânicas da resina composta reforçada, concluindo que os compósitos reforçados demonstraram propriedades mecânicas superiores, com efeitos mínimos na fluidez e radiopacidade. ⁽⁶⁾

O dióxido de titânio tem sido utilizado como carga em vários materiais restauradores dentários. Foi demonstrado que a capacidade do dióxido de nanotitânio melhorou as propriedades mecânicas de materiais dentários. Um aumento significativo na tenacidade à fratura, resistência à flexão e módulo de flexão foi observado em compósitos odontológicos reforçados com dióxido de titânio. Nayak *et al* avaliaram o efeito da morfologia das nanocargas de dióxido de titânio na resistência à flexão e ao cisalhamento do compósito e concluíram que incorporação de nano cargas de TiO_2 aumentou significativamente a resistência à flexão dos compósitos fluidos. Concluíram também que a morfologias da carga inorgânica (esférica ou rômica) não é significativamente relevante. ⁽⁷⁾

Sihivahanan *et al* avaliaram e compararam as propriedades mecânicas de nanopartículas de dióxido de titânio a 2,5% (TiO_2NP) incorporado como carga em resina composta experimental. Os autores observaram que a resina composta experimental apresentou resistência à compressão, resistência à tração diametral e resistência à flexão relativamente elevadas e concluíram que a resina composta experimental com 2,5 % de TiO_2 melhorou as propriedades mecânicas que os demais materiais comparados que foram everXFlow (GC EUROPE) e MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent). ⁽⁸⁾

Souza *et al*, estudaram as características mecânicas e antibacterianas de compósitos fluidos experimentais contendo diferentes concentrações de fluor-nitrogénio com TiO_2 (NF_ TiO_2) e pentóxido de Niobio (Nb_2O_5) nanopartículas, combinadas ou não e observando que a incorporação de 1,5% de NF_ TiO_2 promoveu maior resistência à

flexão e módulo de flexão entre os compósitos experimentais, o que significa uma melhora nas propriedades mecânicas da resina. ⁽⁵⁾

Guimarães *et al* avaliaram a influencia da adição de TiO₂ funcionalizado e não funcionalizado nanoestruturas nas propriedades de uma resina composta (RC) e concluíram que a resina com nanotubos de 0,3% em peso de 3-(trimetoxissilil) propil metacrilato (TSMMPM) apresentou maior grau de conversão após 24 horas, sendo o material mais estável após o amolecimento com etanol. Isto significa que a adição de nano partículas de TiO₂ em resina composta pode melhorar as propriedades mecânicas do material. ⁽⁹⁾

Também, em estudos de Dias *et al*, demonstraram uma melhoria significativa da resistência a compressão apos a inclusão de TiO₂ nanopartículas (NPs), provavelmente devido ao tratamento superficial com organossilano. ⁽¹⁰⁾

Além das resinas terem boas propriedades mecânicas elas devem ser também altamente estáveis e impermeáveis à água. A solubilidade em água contribui para a perda da integridade marginal e a o enfraquecimento das propriedades mecânicas assim como a resistência ao desgaste.

Karaca *et al* estudaram os efeitos da adição de nanotubos de dióxido de titânio, sintetizados pelo método hidrotérmico, nos valores de sorção e solubilidade em água de várias resinas compostas. Os autores observaram que o reforço de nanotubos de TiO₂ diminuiu significativamente os valores de sorção de água e solubilidade em diferentes períodos de avaliação em todas as resinas compostas (Filtek Ultimate Fluido, Filtek Bulk Fluido, SDR Bulk Fill Fluido e Base X-tra), exceto para Venus ($p < 0,05$) o que pode ser devido ao seu baixo teor de carga. Nenhum dos materiais testados neste estudo excedeu os valores máximos de sorção e solubilidade. ⁽¹¹⁾

Contrariando, em um estudo realizado por Sodagar *et al* onde se avaliam as propriedades mecânicas de RC modificadas contendo nanopartículas de TiO₂ resultou que o valor médio de resistência ao cisalhamento foi observado no grupo controlo (0% NPs de TiO₂) e o mais baixo no grupo 10% NPs de TiO₂. Apesar da resistência ao cisalhamento (SBS) diminuir a medida que aumentou a percentagem de NPs no compósito, o valor medio da SBS das resinas contendo 1% e 5% apresentaram valores otimizados. ⁽¹²⁾ No estudo de Yuanhang *et al* os autores concluíram que o composto estrôncio-nitrogênio-dióxido de titânio (Sr-N-TiO₂) e hidroxiapatita (n-HA) é um material de preenchimento com boas propriedades para restauração dentária. Alem disso, explicam que as

propriedades dos polímeros são alcançadas pela conversão de ligações duplas em simples em cadeias alifáticas durante a polimerização livre de materiais á base de resina. A estrutura molecular do monômero, a carga inorgânica, a viscosidade da resina, a duração da fotopolimerização e o sistema de fotoiniciação, entre outros fatores, têm um impacto significativo na taxa do grau de conversão (DC). Neste estudo também diminuíram as DC á medida que a carga de TiO_2 aumentou. ⁽¹³⁾

6. CONCLUSÃO

Após a análise dos estudos selecionados, concluímos que a incorporação de nanopartículas de TiO_2 com efeito antibacteriano contribui para melhorar as propriedades mecânicas das resinas compostas. Embora, os estudos analisados serem exclusivamente estudos *in vitro*, estudos *in vivo* são necessários para corroborarem estas conclusões.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):29-38.
2. Alzraikat H, Burrow MF, Maghaireh GA, Taha NA. Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. *Oper Dent.* 2018 Jul/Aug;43(4):E173-E190.
3. Askar H, Krois J, Göstemeyer G, Schwendicke F. Secondary caries risk of different adhesive strategies and restorative materials in permanent teeth: Systematic review and network meta-analysis. *J Dent.* 2021 Jan;104:103541.
4. Marques, Bruno Fernandes, et al. "Rugosidade Superficial e Microdureza de Resina Composta Reforçada por Nanotubos de Titânio: Revisão das Aplicações Utilizando Método Hidrotérmico." *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION* 12.3 (2023): 399-404.
5. Souza LVS, Pavanello L, Picolo MZD, Kury M, Matos ICRT, Cogo-Müller K, Esteban Florez FL, Cavalli V. Mechanical and antibacterial properties of an experimental flowable composite containing Nb₂O₅ and NF_TiO₂ nanoparticles. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023 Jul;143:105919.
6. Dafar MO, Grol MW, Canham PB, Dixon SJ, Rizkalla AS. Reinforcement of flowable dental composites with titanium dioxide nanotubes. *Dent Mater.* 2016 Jun;32(6):817-26. .
7. Nayak PP, Kini S, Ginjupalli K, Pai D. Effect of shape of titanium dioxide nanofillers on the properties of dental composites. *Odontology.* 2023 Jul;111(3):697-707.
8. Sihivahanan, D. e Nandini, VV (2021). Avaliação comparativa das propriedades mecânicas de nanopartículas de dióxido de titânio incorporadas em resina composta como material restaurador de núcleo. *O Jornal de Prática Odontológica Contemporânea* , 22 (6), 686-690.
9. Guimarães GMF, Bronze-Uhle ES, Lisboa-Filho PN, Fugolin APP, Borges AFS, Gonzaga CC, Pfeifer CS, Furuse AY. Effect of the addition of functionalized TiO₂ nanotubes and nanoparticles on properties of experimental resin composites. *Dent Mater.* 2020 Dec;36(12):1544-1556.

10. Dias HB, Bernardi MIB, Bauab TM, Hernandez AC, de Souza Rastelli AN. Titanium dioxide and modified titanium dioxide by silver nanoparticles as an anti biofilm filler content for composite resins. *Dent Mater.* 2019 Feb;35(2):e36-e46.
11. Karaca MK, Kam Hepdeniz O, Esencan Turkaslan B, Gurdal O. The effect of functionalized titanium dioxide nanotube reinforcement on the water sorption and water solubility properties of flowable bulk-fill composite resins. *Odontology.* 2022 Apr;110(2):313-328.
12. Sodagar A, Akhoundi MSA, Bahador A, Jalali YF, Behzadi Z, Elhaminejad F, Mirhashemi AH. Effect of TiO₂ nanoparticles incorporation on antibacterial properties and shear bond strength of dental composite used in Orthodontics. *Dental Press J Orthod.* 2017 Sep-Oct;22(5):67-74.
13. Zhao Y, Zhang H, Hong L, Zou X, Song J, Han R, Chen J, Yu Y, Liu X, Zhao H, Zhang Z. A Multifunctional Dental Resin Composite with Sr-N-Doped TiO₂ and n-HA Fillers for Antibacterial and Mineralization Effects. *Int J Mol Sci.* 2023 Jan 9;24(2):1274

