

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE MARGINAL E FORMAÇÃO DE FENDAS INTERNAS EM RESTAURAÇÕES REFORÇADAS COM FIBRAS

Evaluation of Marginal Integrity and Internal Gap Formation in Fiber-Reinforced Restorations

Access this article online	
Quick Response Code:	Website: https://periodicos.uff.br/ijosd/article/view/71316
	

Autores:

Larissa de Carvalho Azeredo

Mestre em Dentística, pelo PPGO da Universidade Federal Fluminense (FOUFF)

Fernanda Bizzo

Cirurgiã dentista (FOUFF)

Renata Nunes Jardim

Professora Adjunta da Faculdade de Odontologia de Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
Mestre em Materiais Dentários, Doutora em Odontologia, concentração em Dentística Restauradora (FOUFF)

Maria Elisa da Silva Nunes Gomes Miranda

Professora Adjunta da Faculdade de Odontologia de Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
Mestre em Dentística, Doutora em Odontologia, concentração em Dentística Restauradora (FOUFF)

Jaime Dutra Noronha Filho

Professor Adjunto da Faculdade de Odontologia de Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
Mestre em Dentística, Doutor em Odontologia, concentração em Dentística Restauradora e Pós- Doutorado (FOUFF)

Instituição onde o trabalho foi realizado: Universidade Federal Fluminense

Endereço para correspondência: Rua Mário Santos Braga, 30 , 3º andar. [Tel:\(21\)98440-9979](tel:(21)98440-9979).

E-mail para correspondência: jaimennoronha@id.uff.br

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a integridade marginal e formação de fendas em restaurações reforçadas com fibras e analisar se a natureza das fibras influencia nessas condições, através de um estudo *in vitro*. Foram feitas cavidades em trinta incisivos bovinos hígidos, imersos em solução de cloramina a 1%, lavados e refrigerados em água destilada. Foi realizada a planificação da face vestibular dos dentes em politriz utilizando lixas de carbetto de silício. Logo após, foram confeccionadas cavidades tipo classe I ($\varnothing = 5.0$ mm e $h = 4.0$ mm) por meio de uma ponta diamantada cilíndrica #4054. A partir disso, os dentes foram submetidos à etapa restauradora divididos em 6 grupos experimentais ($n=5$): G1 – Bulk fill one; G2 – resina z250; G3 – Ribbond + Bulk fill one; G4 – Ribbond + z250; G5 – Interlig + Bulk fill one e G6 – Interlig + z250. Logo após restaurados, os dentes foram armazenados em estufa à 37°C. Para identificar fendas na interface dente-restauração, a análise de %FM (fenda marginal) foi realizada por meio de microscopia confocal de varredura a laser 3D – 3DLCM. Além disso, também foram analisadas a formação de fendas internas em um aparelho de micro-CT. Os dados obtidos foram analisados com os modelos estatísticos adequados às distribuições observadas ($\alpha = 0,05$). O G5 apresentou maior valor em relação a %FM e não houve diferença significativa para os resultados de fendas internas. Pôde-se concluir que a inserção de fibras influencia na %FM e não influencia na formação de fendas internas.

Palavras-chaves: Ribbond; Interlig; bulk fill; integridade marginal; fendas internas

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate marginal integrity and gap formation in fiber-reinforced restorations, as well as to analyze whether the nature of the fibers influences these conditions, through an *in vitro* study. Cavities were prepared in thirty sound bovine incisors, previously immersed in a 1% chloramine solution, washed, and stored under refrigeration in distilled water. The buccal surfaces of the teeth were flattened using a polishing machine with silicon carbide papers. Subsequently, Class I cavities ($\varnothing = 5.0$ mm; $h = 4.0$ mm) were prepared using a cylindrical diamond bur (#4054). The teeth were then restored and randomly assigned to six experimental groups ($n = 5$): G1 – Bulk Fill One; G2 – Z250 resin; G3 – Ribbond + Bulk Fill One; G4 – Ribbond + Z250; G5 – Interlig + Bulk Fill One; and G6 – Interlig + Z250. After restoration, the specimens were stored in an incubator at 37 °C. The percentage of marginal gap (%MG) at the tooth–restoration interface was evaluated using three-dimensional laser scanning

confocal microscopy (3D-LCM). In addition, internal gap formation was analyzed using micro-computed tomography (micro-CT). The data were analyzed using statistical models appropriate to the observed distributions ($\alpha = 0.05$). The results showed that group G5 presented the highest %MG values, while no statistically significant differences were observed among the groups regarding internal gap formation. It can be concluded that fiber insertion influences the percentage of marginal gaps but does not affect internal gap formation.

Keywords: Resin composite, marginal gap , internal fit

INTRODUÇÃO

A cárie recorrente pode se apresentar uma lesão adjacente a uma restauração existente (ASKAR et al., 2021), sendo responsável por 60% das falhas de restaurações em resina composta (JOKSTAD A, 2016). A substituição ou o reparo do procedimento restaurador como tratamento para a cárie secundária permite a remoção de mais tecido do elemento dentário, levando a perda estrutural do dente (GE KX et al., 2023). Acredita-se que a prevenção da cárie recorrente será uma questão de saúde bucal de extrema importância pelos próximos 20 anos (SEEMANN R et al., 2014).

Com o objetivo de solucionar as desvantagens da técnica incremental em compósitos convencionais, compósitos bulk fill têm sido estudados, permitindo redução no tempo de procedimento e diminuição da presença de bolhas ou espaços vazios entre as camadas. (TEZVERGIL-MUTLUAY A; VALLITTU PK, 2014), (PARASHER A et al., 2020). Em comparação com resinas compostas convencionais, as resinas bulk fill possuem maior grau de conversão, profundidade de cura, menor tensão de contração de polimerização e integridade marginal adequada (ALSHEHRI A et al., 2023). Esforços têm sido realizados para desenvolver métodos que previnam a micro infiltração em restaurações de compósito Classe II diminuindo a contração de polimerização, como por exemplo a inserção de fibras de reforço na cavidade (AGRAWAL VS et al., 2022). Segundo Xu et al., 2003, quando fibras são inseridas em restaurações de compósito Classe II, há o aumento da qualidade da zona marginal (TEZVERGIL-MUTLUAY A; VALLITTU PK, 2014), que pode ocorrer pois as fibras substituem a parte do incremento do compósito neste local, resultando em diminuição da contração volumétrica global de polimerização da restauração.

O surgimento do reforço de fibra em restaurações de resina composta ampliou as aplicações potenciais desses procedimentos clínicos, pois permitem o fortalecimento interno das restaurações e reduzem a ocorrência de fraturas

(DYER S et al, 2005) Os materiais mais utilizados para reforço de compósitos são as fibras de polietileno e fibras de vidro. Estudos comprovam que ambos os tipos desempenham um papel importante no aumento da resistência à fratura (SÁRY T et al., 2019) e na melhoria da microinfiltração e integridade marginal das restaurações (OZEL E, 2009).

Dessa forma, a avaliação da integridade marginal e formação de fendas internas em restaurações com diferentes fibras no fundo da cavidade permite comparar a efetividade da colocação dessas fitas de fibras em restaurações profundas, que podem proporcionar maior longevidade das restaurações em compósito e redução de falha relacionada à cárie secundária (ALSHEHRI A et al., 2023).

METODOLOGIA

Foram utilizados trinta incisivos bovinos obtidos diretamente de batedouro sem nenhum tipo de manipulação de animais, livres de cárie, defeitos, trincas e devidamente higienizados. Em seguida, os dentes foram planificados em politriz (DPU 10, Struers, Dinamarca) na face vestibular, por meio de pressão digital sob constante irrigação, utilizando-se lixas de carbetto de silício em granulação crescente de abrasividade nas numerações 400, 600, 1200 e 2000 (T223, Saint Gobain-Norton, Guarulhos, SP, Brasil) por um minuto cada, até que se obtivesse uma superfície de esmalte plana. Em seguida, uma cavidade similar a classe I, ou seja, com parede de fundo e paredes circunjacentes, padronizada ($\varnothing = 5.0$ mm e $h = 4.0$ mm) utilizando uma ponta diamantada cilíndrica # 4054 (KG Sorensen, SP, Brasil), sob irrigação abundante.

Em seguida os dentes foram divididos aleatoriamente em 6 grupos ($n=5$), segundo o quadro 1.

GRUPOS	COMPOSIÇÃO
G1	BULK FILL ONE
G2	Z250
G3	BULK FILL ONE + RIBBOND
G4	Z250 + RIBBOND
G5	BULK FILL ONE + INTERLIG
G6	Z250 + INTERLIG

Quadro 1 – Grupos experimentais.



As cavidades foram inicialmente condicionadas em esmalte com ácido fosfórico Condac 37%, (FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) por 15 segundos e depois tratada como orientação do fabricante. Foi aplicado primer Clearfil SE Bond (Clearfil SE bond, Kuraray, Tóquio, Japão) em toda cavidade com micro aplicador descartável e deixados por 20s seguido de leve secagem com jato de ar e fotopolimerizado por 40s com LED Radium-cal (SDI, Bayswater, Victoria, Australia) com intensidade de luz de 1.200 mW/cm².

Foi realizado um corte com tesoura reta de 3 mm na fibra de vidro (Interlig) e inserida paralelamente no fundo da cavidade, manipulado em baixa luminosidade e com auxílio de uma pinça.

A fita de fibra de polietileno (Ribbond), segundo o fabricante, necessita de preparação para inserção na cavidade. As fitas Ribbond foram colocadas em uma placa de vidro, umedecidas completamente em agente de união Clearfil SE (Clearfil SE bond, Kuraray, Tóquio, Japão) o excesso de adesivo na fibra foi removido suavemente com um micro aplicador seco. Posteriormente a fibra foi cortada com tesoura Ribbon em 3 mm e colocados paralelamente no fundo da cavidade. Após a preparação e hibridização da cavidade a fibra foi colocada sobre o compósito Clearfil AP-X Esthetics Flow (Kuraray, Tóquio, Japão) na cavidade e empurrada suavemente através do compósito não polimerizado com o auxílio de uma sonda milimetrada. A fibra foi manipulada com uma pinça e em baixa luminosidade. O compósito fluido já impregnado com a fita de polietileno foi fotoativado por 20s LED Radium-cal (SDI, Bayswater, Victoria, Australia) com intensidade de luz de 1.200 mW/cm². Após a inserção das fibras, o processo restaurador ocorreu de acordo com o indicado pelos grupos experimentais.

Após restaurados, os espécimes foram armazenados em estufa à 37°C. A análise de %FM (Fenda Marginal) foi realizada por meio de microscopia confocal de varredura a laser 3D - 3DLCM (LEXT OLS4001, Olympus, USA) após o procedimento restaurador, operando no modo de varredura rápida XYZ, com uma lente MPLAPONLEXT utilizando uma objetiva com um aumento de 20x. Inicialmente, para cada restauração uma imagem foi obtida por meio da objetiva de 5x, a fim de capturar 1/4 da restauração, de modo a guiar a obtenção das seguintes imagens. Em seguida, foi utilizada a objetiva de 20x para escanear a superfície da interface dente-restauração, e utilizar como guia a imagem obtida inicialmente por meio da objetiva de 5x correspondente à 1/4 da restauração, produzindo sete imagens por quadrante, totalizando 28 imagens por espécime. Logo após, as imagens foram analisadas em 3D utilizando duas ferramentas específicas do 3DCLM, um filtro de altura que utiliza contraste de cores que permite identificar com precisão das áreas com fendas na interface dente-resina

composta e um marcador linear que permite medir o comprimento das fendas, a %FM foi calculado como a relação entre o comprimento da fenda para todo o perímetro da cavidade utilizando a seguinte equação: $\%FM = (FM/2\pi r) \times 100$, onde FM representa as margens com fendas e r o raio da cavidade.

Os dentes bovinos restaurados foram escaneados em um aparelho de micro-CT (SkyScan 1173; Bruker-microCT, Kontich, Bélgica). Os parâmetros de aquisição foram: 70 kV, 114 μ A, tamanho de matriz do detector 2240x2240 pixels, tamanho de pixel de 8,19 μ m, filtro de Al de 1 mm de espessura, tempo de exposição de 1 segundo, passo de rotação de 0,5° em 360°, média de quadro de 5, movimentos aleatórios de 40. O tempo de escaneamento foi de aproximadamente 15 minutos para cada espécime. Após a aquisição, as seções transversais foram reconstruídas através de um software próprio (NRecon, Bruker) utilizando parâmetros pré-selecionados: redução de artefato de anel de 10, correção de beam hardening de 75%, sem filtros de redução de ruído e entrada de mínimo (0) e máximo (0,15) de limite de contraste.

As fendas internas foram avaliadas através de perfis de densidade, ou seja, medidas em tons de cinza. A imagem reconstruída foi importada para uma interface de software de visualização 3D (Dataviewer, Bruker) e o gap interno foi medido com marcador linear, contornando a fenda interna, feito após a calibração da imagem a partir dos parâmetros pré-selecionados. Cada dente apresentou um quantitativo específico de imagens (slice), de acordo com o image pixel size empregado no aparelho, a partir dessas imagens definimos a leitura inicial que é feita com slice inicial sendo o de medida de 5 mm (diâmetro máximo) do início ao final da restauração. Ao observar as imagens dos grupos, obteve-se um padrão de análise de 0,25 mm (250 micrômetros) a partir da imagem inicial, rodando a imagem ao longo dos slices, reduzindo o diâmetro ao longo das imagens, caracterizando um total de 11 slices (imagens) analisadas por espécime. Em cada slice foi obtido, com um marcador linear, o contorno da fenda interna. Ao final o software apresenta o total em milímetros quadrados das fendas daquele dente.

RESULTADOS

Os resultados da microscopia confocal de varredura estão apresentados na tabela 1. A Análise de Variância de um fator encontrou significância estatística entre os valores de formação de fendas ($p=0,0089$). Após o Teste de contraste entre médias (Tukey), observou-se que o Grupo 5 apresentou o maior resultado em relação ao aparecimento de fendas marginais, sendo semelhante aos grupos

G1, G3 e G6 e diferente dos Grupos G2 e G4 que apresentaram os valores mais discretos.

Tabela 1 – Valores médios (%) das fendas marginais.

GRUPOS	FENDAS MARGINAIS (%)
G1 – Bulk fill	52,83 ^{AB}
G2 – z250	40,32 ^A
G3 – Ribbond + bulk fill	86,91 ^{AB}
G4 – Ribbond + z250	39,26 ^A
G5 – Interlig + Bulk fill	109,49 ^B
G6 – Interlig + z250	79,20 ^{AB}

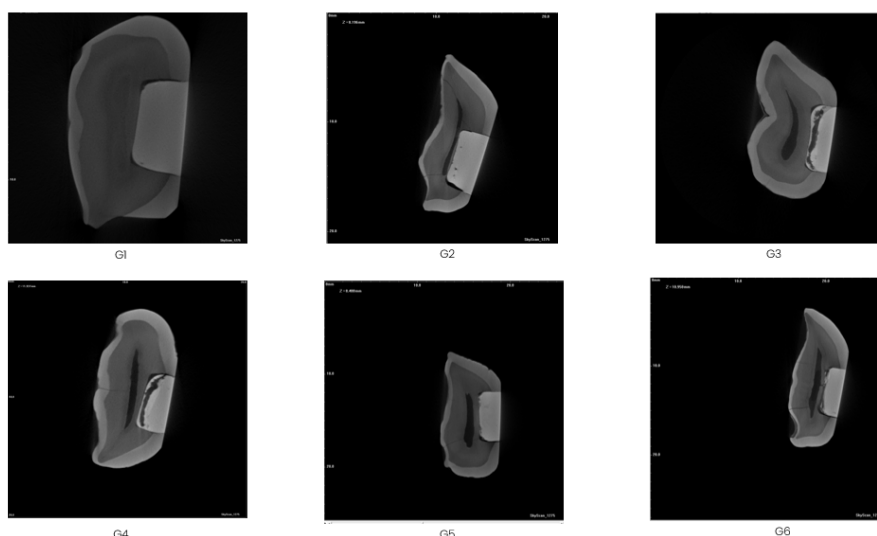
Valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes entre si.

Em relação à predominância de fendas internas por Microtomografia Computadorizada estão apresentados na Tabela 2. A Análise de Variância não mostrou diferença significativa entre os grupos ($p=0,2682$), ou seja, os resultados mostram que todos os grupos apresentaram valores de fendas internas estatisticamente semelhantes.

Tabela 2 – Valores médios (%) das fendas internas.

GRUPOS	FENDAS INTERNAS (%)
G1 – Bulk fill	0,61 ^A
G2 – z250	0,55 ^A
G3 – Ribbond + bulk fill	0,55 ^A
G4 – Ribbond + z250	0,41 ^A
G5 – Interlig + Bulk fill	0,08 ^A
G6 – Interlig + z250	0,56 ^A

Figura 2 – Figuras ilustrativa que mostram o aparecimento das fendas intenas nos grupos experimentais.



DISCUSSÃO

Durante a reação de polimerização das resinas compostas ocorre uma redução das distâncias intermoleculares provocando uma contração volumétrica do material (SZCZESIO-WLODARCZYK A et al., 2024), com isso, é habitual acontecer uma tensão de tração na interface dente-restauração. Se essa tensão de contração exceder as forças de resistência de união nas superfícies internas da cavidade, haverá micro fissuras na interface dente-restauração e consequente perda de selamento entre o elemento dentário e o compósito restaurador, o que leva a uma falha, diminuindo a longevidade do procedimento clínico (GE KX et al., 2023).

Deste modo pode ocorrer a microinfiltração na interface dente-restauração e a permeabilidade marginal à invasão bacteriana, fluidos ou moléculas as quais são tradicionalmente avaliadas por diversas técnicas in vitro já consagradas na literatura. Dentro deste contexto, a microscopia confocal de varredura é uma técnica utilizada para visualizar as características do tecido subsuperficial (MUPPALLA KN et al., 2020) Uma de suas vantagens é a indicação clara dos limites de infiltração devido ao foco da lente, que pode ocorrer alguns micrômetros abaixo da superfície observada. Isso elimina a propagação de manchas causadas pelo seccionamento da amostra e também evita artefatos de polimento que exageram a penetração do corante, quando utilizado esse método (LOPES MB et al., 2009) O microscópio confocal de varredura é excelente para uma avaliação precisa da micro infiltração marginal, pois fornece imagens detalhadas e de alta resolução.

A microtomografia computadorizada proporciona imagens de alta resolução em 3D que facilitam a visualização de adaptações marginais e a detecção de fendas internas sem a necessidade de seccionamento físico das amostras (RIBBOND, s.d.). As amostras podem ser giradas e visualizadas como fatias virtuais, o que permite a medição de quaisquer parâmetros e sua comparação em diferentes fases do experimento (TOMA FR et al., 2023), se tornando uma vantagem se comparado a penetração de corante e seccionamento das amostras. A microtomografia computadorizada é a melhor escolha para identificar e analisar fendas internas de forma não invasiva e tridimensional, oferecendo uma análise completa e confiável.

A utilização das fibras como mecanismo de resinas compostas atua como um mecanismo de interrupção de trinca, podendo reduzir a desadaptação no fundo da cavidade. Fitas de fibras de vidro, por exemplo, têm mostrado eficácia na redução da microinfiltração em restaurações classe I (DUDÁS C et al., 2024). Similarmente, fibras de polietileno, têm sido associadas à redução de micro infiltração em restaurações de resina composta, independentemente da técnica restauradora empregada (EL-MOWAFY O et al., 2007).

A incorporação de fibras de polietileno e de vidro em sistemas restauradores tem se mostrado uma estratégia eficaz para otimizar a resistência mecânica e a durabilidade das restaurações. Estas fibras, compostas por múltiplos fios orientados e interseções nodais que formam uma malha contínua, promovem diversos caminhos de carga que favorecem a redistribuição das forças mastigatórias (AGRAWAL VS et al., 2022). Além disso, materiais como o Ribbond, por apresentarem alto módulo elástico e baixo módulo de flexão, são capazes de modificar as tensões interfaciais (DELIPERI S et al., 2017). Paralelamente, os compósitos reforçados com fibras de vidro demonstram elevada resistência à fratura e à propagação de trincas, além de promoverem melhor adaptação, sendo particularmente eficazes quando utilizados como subestruturas em restaurações com resina composta (VISSER HJ et al., 2014). A inserção estratégica dessas fibras na cavidade permite uma distribuição mais eficiente das tensões, absorção de energia e contenção de falhas estruturais, diminuindo a formação de fendas internas e desadaptação do material restaurador, prevenindo a propagação de fissuras e reduzindo significativamente a micro infiltração (AGRAWAL VS et al., 2022).

A inserção de fibras de reforço em cavidade dentárias visa restaurar a integridade estrutural e biomecânica do elemento dentário, especialmente em extensas perdas coronárias. Diversas técnicas de posicionamento dessas fibras vêm sendo descritas na literatura, incluindo sua colocação ao redor das paredes

cavitarias, no fundo da cavidade ou em configurações específicas como em forma de “U” ou “X”. A inserção de fibras ao redor da cavidade busca promover uma contenção periférica das tensões funcionais, porém pode resultar em aumento da espessura da camada adesiva e comprometer a adaptação marginal da restauração (WANG Y et al., 2016). Já o posicionamento das fibras no fundo da cavidade, sobre a dentina da parede pulpar tem demonstrado reforço eficaz contra fraturas, por absorver e redistribuir as tensões mastigatórias de maneira mais eficiente (BELLI R et al., 2005). Configurações em forma de “U” ou “X” têm sido sugeridas com o objetivo de reforçar regiões específicas da estrutura dentária, mas exigem precisão técnica na adaptação das fibras, sob risco de falhas adesivas. Alternativamente, o revestimento apenas das paredes internas pode ser indicado em cavidades mais rasas ou conservadoras, enquanto o reforço exclusivamente do fundo é preferido em cavidades com 4mm de profundidade (GAROUSHI S et al., 2009). Neste estudo, optou-se pela utilização de fibras exclusivamente no fundo da cavidade, com base em evidências que demonstram sua eficácia em aumentar a resistência à fratura, reduzir a concentração de tensões e atuar como uma base resiliente capaz de limitar a propagação de trincas e microfissuras (VISSER HJ et al., 2014).

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, a inserção de fibras no fundo da cavidade não parece ter afetado a formação de fendas das restaurações de forma clara caracterizando uma relação de causa e efeito. É possível observar uma menor formação de fendas na interface dente restauração no grupo G4 (tabela 1), sendo estatisticamente semelhante aos grupos G1, G2, G3 e G6 e diferente estatisticamente apenas do grupo G5, que apresentou maior valor numérico de fendas na interface. Apesar do grupo G5 ser estatisticamente semelhante ao grupo G1, G2 e G6, apresentou valores de fendas superiores aos grupos restaurados com resina convencional (z250) na técnica incremental (G2) e com ribbond no fundo da cavidade (G4). No entanto, não possível estabelecer uma relação direta entre a presença e natureza das fibras, devidos aos resultados erráticos. Deste modo, não há justificativa suficiente para realizar mais uma etapa clínica (DHINGRA G et al., 2014), (HAYASHI J et al., 2019).

A microtomografia computadorizada é uma técnica que permite a obtenção de imagem tridimensional de alta, nesse contexto sobre a inserção de fibras de reforço, a micro-CT revelou que os resultados obtidos foram estatisticamente semelhantes entre os diversos grupos experimentais (tabela 2), indicando que a inserção de diferentes fibras no fundo da cavidade não apresentou variações em relação à formação de fendas internas. Esses achados sugerem que a inserção de fibra de reforço parece não influenciar na formação de fendas internas como foi sugerido anteriormente por Sadr A et al., 2020, isso parece ocorrer pois a

fusão das fibras com a matriz polimérica pode não ocorrer de forma adequada, acreditando-se levar a formação de espaços vazios e ao aprisionamento de oxigênio, o que poderia interferir na polimerização da resina resultando em maior monômero residual.

Dessa forma, pode-se supor que a incorporação de fibras em restaurações com resina composta não proporciona benefícios significativos no que diz respeito à redução da micro infiltração marginal e fendas internas, quando comparado aos protocolos já utilizados convencionalmente. Tal constatação pode ser suspeitada pela baixa adesão das fibras à matriz resinosa, o que pode comprometer a continuidade estrutural do conjunto restaurador. Essa deficiência na interface fibra-resina parece impossibilitar a eficiente interrupção da propagação de trincas, que é um dos principais objetivos do uso desses reforços (FERRACANE JL et al., 2016)

CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste estudo pode-se concluir que:

- A incorporação de fibras no fundo da cavidade restauradora não evidencia melhora na redução da formação de fendas marginais em restaurações com resina composta.
- A utilização de fibras de diferentes naturezas não alterou o percentual de formação de fendas internas.
- A utilização de fibras no fundo de cavidades restauradas com resinas compostas não parece um protocolo racional com o objetivo de reduzir fendas marginais e internas.
- Mais estudos dentro dessa linha são necessários para a elucidação dos mecanismos envolvidos neste tipo de protocolo restaurador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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;104.



2. Jokstad A. Secondary caries and microleakage. *Dent Mater* 2016;32(1):11-25.
3. Ge KX, Quock R, Chu CH, Yu OY. The preventive effect of glass ionomer cement restorations on secondary caries formation: a systematic review and meta-analysis. *Dent Mater* 2023;39(12):e1-e17.
4. Seemann R, Flury S, Pfefferkorn F, Lussi A, Noack MJ. Restorative dentistry and restorative materials over the next 20 years: a Delphi survey. *Dent Mater* 2014;30(4):442- 448.
5. Tezvergil-Mutluay A, Vallittu PK. Effects of fiber-reinforced composite bases on microleakage of composite restorations in proximal locations. *Dent J* 2014;8:213-219.
6. Parasher A, Ginjupalli K, Somayaji K, Kabbinala P. Comparative evaluation of the depth of cure and surface roughness of bulk-fill composites: an in vitro study. *Dent Med Probl* 2020;57:39-44.
7. Alshehri A, Alhalabi F, Robaian A, Abuelqomsan MAS, Alshabib A, Ismail E, et al. No-cap flowable bulk-fill composite: physico-mechanical assessment. *Polymers* 2023;15:1847.
8. Dhingra V, Taneja S, Kumar M, Kumari M. Influence of fiber inserts, type of composite, and gingival margin location on the microleakage in class II resin composite restorations. *Oper Dent* 2014;39(1):E9-E15.
9. Xu HH, Schumacher GE, Eichmiller FC, Peterson RC, Antonucci JM, Mueller HJ. Continuous-fiber preform reinforcement of dental resin composite restoration. *Dent Mater* 2003;19(6):523-530.
10. Dyer S, Lassila L, Vallittu P. Effect of cross-sectional design on modulus of elasticity and toughness of fiber-reinforced composite materials. *J Prosthet Dent* 2005;94:219-226.
11. Sáry T, Garoushi S, Braunitzer G, Alleman D, Volom A, Fráter M. Fracture behaviour of MOD restorations reinforced by various fibre-reinforced techniques—an in vitro study. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019;98:348-356.



12. Ozel E, Soyman M. Effect of fiber nets, application techniques and flowable composites on microleakage and polymerization shrinkage in class II MOD cavities. Oper Dent 2009.
13. Visser HJ, Brandt PD, de Wet FA. Fracture strength of cusp-replacing fibre-strengthened composite restorations. SADJ 2014;69:204-207.
14. Deliperi S, Alleman D, Rudo D. Stress-reduced direct composites for the restoration of structurally compromised teeth: fiber design according to the wallpapering technique. Oper Dent 2017.
15. Ribbond. Ribbond bondable reinforcement ribbon: aplicações em restauração de compósito reforçado com fibra. Disponível em: <https://pt.ribbonbond.com/applicationscomposite-restoration.html>.
16. Agrawal VS, Shah A, Kapoor S. Effect of fiber orientation and placement on fracture resistance of large class II mesio-occluso-distal cavities in maxillary premolars: an in vitro study. J Conserv Dent 2022;25(2):122-127.
17. Hayashi J, Espigares J, Takagaki T, Shimada Y, Tagami J, Numata T, et al. Real-time in depth imaging of gap formation in bulk-fill resin composites. Dent Mater 2019;35:585-596.
18. Ferracane JL, Hilton TJ. Polymerization stress – is it clinically meaningful? Dent Mater 2016;32:1-10.
19. Szczesio-Wlodarczyk A, Garoushi S, Vallittu P, Bociog K, Lassila L. Polymerization shrinkage stress of contemporary dental composites: comparison of two measurement methods. Dent Mater J 2024;43(2):155-163.
20. Muppalla KN, Harikumar V, Sarathchandra P, Reddy SJ, Rajani P. Effect of modulated photoactivation of bulk-fill composite on microleakage in fluorosed and nonfluorosed teeth: a confocal laser scanning microscopy study. J Conserv Dent 2020;23(2):180-184.
21. Lopes MB, Consani S, Gonini-Junior A, Moura SK, McCabe JF. Comparison of microleakage in human and bovine substrates using confocal microscopy. Bull Tokyo Dent Coll 2009;50:111-116.



22. Toma FR, Moleriu LC, Porojan L. Micro-CT marginal and internal fit evaluation of CAD/CAM high-performance polymer onlay restorations. *Polymers* 2023;15(7):1715.
23. Dudás C, Kardos E, Székely M, Bardocz-Veres LÁZ, Szöllősi E, Jánosi KM, Kerekes-Máthé B. Effect of glass fiber reinforcement on marginal microleakage in class II composite restorations: an in vitro pilot study. *Dent. J.* **2024**, 12(12), 410
24. El-Mowafy O, El-Badrawy W, Eltanty A, Abbasi K, Habib N. Gingival microleakage of class II resin composite restorations with fiber inserts. *Oper Dent* 2007;32(3):298-305.
25. Wang Y, Xuan D, Zou Y, Li J, Jiang X. Effect of polyethylene fiber insertion on fracture resistance in endodontically treated teeth: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2016;42(9):1396-1403.
26. Belli R, Zarrelli M, Peters OA, Frankenberg R, Dietrich T, Ferreira FM. Mechanical fatigue degradation of resin composites – a rationale for material selection. *Dent Mater* 2005;21(9):846-856.
27. Garoushi S, Mangoush E, Lassila LVJ, Vallittu PK. Fiber-reinforced composite substructure: load-bearing capacity and fracture behavior. *Acta Odontol Scand* 2009;67(2):87-93.
28. Sadr A, Bakhtiari B, Hayashi J, Luong MN, Chen YW, Chyz C, Chana D, Tagami J. Effects of fiber reinforcement on adaptation and bond strength of a bulk-fill composite in deep preparations. *Dent Mater* 2020;36(4):527-534.