



CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

TRATAMENTO MAGNÉTICO INOVADOR MELHORA A DURABILIDADE DE
ADESIVOS CONVENCIONAIS À DENTINA

CAROLINE DE OLIVEIRA TEIXEIRA
DÉBORA EVELLIN MIRANDA DA SILVA

FORTALEZA-CE
2022

CAROLINE DE OLIVEIRA TEIXEIRA
DÉBORA EVELLIN MIRANDA DA SILVA

**TRATAMENTO MAGNÉTICO INOVADOR MELHORA A DURABILIDADE DE
ADESIVOS CONVENCIONAIS À DENTINA**

Trabalho apresentado ao Curso de Odontologia do Centro Universitário – UNIFAMETRO, como requisito para obtenção do título de Cirurgiã-Dentista, feito sob orientação do Prof. Dr. Victor Pinheiro Feitosa.

Fortaleza-CE
2022

CAROLINE DE OLIVEIRA TEIXEIRA
DÉBORA EVELLIN MIRANDA DA SILVA

TRATAMENTO MAGNÉTICO INOVADOR MELHORA A DURABILIDADE DE
ADESIVOS CONVENCIONAIS À DENTINA

Trabalho apresentado ao Curso de Odontologia do Centro Universitário – UNIFAMETRO, no dia 30 de maio de 2022, como requisito para obtenção do título de Cirurgiã-Dentista, feito sob orientação do Prof. Dr. Victor Pinheiro Feitosa.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Victor Pinheiro Feitosa
Orientador – Centro Universitário Fametro – Unifametro

Prof.^a Dra. Madiana Magalhães Moreira
Membro - Centro Universitário Fametro – Unifametro

Prof.^a Ma. Suyane Maria Luna Cruz de Vasconcelos
Membro - Centro Universitário Fametro – Unifametro

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos
nossos familiares e amigos, que
são incentivadores da nossa
caminhada.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS – CAROLINE TEIXEIRA

A Deus, que dá sentido à todas as coisas. Que derrama diariamente sua bondade e misericórdia sobre minha vida e se faz presente em todos os momentos. A Ele minha eterna gratidão.

Aos meus pais, Jackson Adriano Rodrigues Teixeira e Patrícia de Oliveira Teixeira, por serem minha fonte de amor e segurança. Por todo o esforço para proporcionar o melhor para mim e para meus irmãos. Obrigada por estarem sempre presentes, ainda que distantes fisicamente. Minha formação é uma vitória nossa. Amo vocês.

Aos meus tios, especialmente Fernando Antônio Bezerra de Oliveira e Sammy Maria de Oliveira Bezerra, por serem fundamentais na realização desse sonho. Por todo zelo, amor e acolhimento dedicado. Sempre serei grata.

Aos meus avós, Egídio Dutra Teixeira, Sirlaine Maria Rodrigues Teixeira e Jucineide Damasceno que são minhas referências de resiliência, determinação e coragem. Obrigada por todo amor e cuidado. Suas orações e amparo tornaram esse sonho possível.

Aos meus irmãos, Mateus de Oliveira Teixeira e Rafael de Oliveira Teixeira, por serem fontes de incentivo para alcançar meus sonhos.

À minha prima, Gabriella Bezerra de Oliveira, que é uma irmã para mim. Obrigada por toda cumplicidade, parceria e compreensão.

À minha dupla, Carla Natiara Rabelo Mesquita, com quem dividi esses cinco anos de graduação. Choramos, sorrimos, aprendemos e crescemos. Sempre juntas. Gratidão a todo apoio, ensinamento e momentos que tivemos.

À minha dupla do TCC e amiga, Débora Evellin Miranda, por toda cumplicidade, compreensão e incentivo. Obrigada por estarmos juntas nesse momento tão especial.

Às minhas companheiras de graduação Sabrina Cândido, Luana Lima, Renata Lins e Jeniffer Ribeiro que tornaram essa caminhada mais leve e alegre. Dividimos momentos especiais de cumplicidade, apoio e incentivo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Victor Feitosa, pelo apoio, pela paciência e confiança. Por ter me dado a primeira oportunidade na área da pesquisa. Sempre serei grata por todo encorajamento e por acreditar em mim. Posso dizer que ganhei um amigo. Fico feliz em fazer parte do “Team Feitosa” e através de você ter conhecido pessoas que me inspiram.

Às professoras Madiana Moreira Magalhães e Suyane Maria Luna Cruz de Vasconcelos por terem aceito o convite para fazer parte da banca avaliadora e por dedicarem seu tempo para participar desse momento tão importante; vocês são inspirações para mim. É uma honra tê-las como banca.

Aos demais professores que fazem parte do corpo docente da Odontologia Unifametro, meus sinceros agradecimentos pela contribuição de cada um na minha formação. Por todos os conselhos e momentos compartilhados.

AGRADECIMENTOS – DÉBORA MIRANDA

A Deus, que me sustentou até aqui, deu significado a minha vida e me deu Seu amor, que foi o que me manteve de pé nos dias mais difíceis.

À minha mãe, Antônia Elisângela Ferreira da Silva, que é minha maior referência de garra, força e determinação. É em você que me inspiro todos os dias, é você que faz com que eu me torne cada vez melhor, as minhas melhores qualidades, herdei de você! Em todos os detalhes cuidou de mim com amor e zelo; me apoiou em todos os momentos, esteve ao meu lado e foi sempre minha melhor amiga e minha base forte. Sonhou meus sonhos comigo diariamente, você é minha admiração, mãe.

À minha avó, sei que esse sonho também é dela, sei o quanto ela vibra pelas minhas conquistas e se orgulha da minha trajetória. Sendo ela, minha cantora favorita. Você é meu amor mais puro, te amo com toda verdade do meu coração!

Ao meu padrasto, que me apoiou e me ajudou em todo o meu percurso, quem sempre me deu carinho, cuidou de mim e acreditou na minha força de vontade, amo demais você, obrigada por tanto.

Ao meu pai, que acima de tudo me deu a vida.

À minha dupla de faculdade e amiga, Francisca Luana Lima de Carvalho, com quem dividi apartamento durante anos e também alegrias, aflições e conhecimento; muita gratidão por ter compartilhado essa etapa tão importante da minha vida ao lado de uma pessoa tão incrível e tão acolhedora.

À minha dupla do TCC, Caroline de Oliveira Teixeira, por toda amizade, pelos segredos confiados e as noites em que estávamos sempre disponíveis uma para a outra.

Às minhas amigas da faculdade, Natiara, Sabrina e Renata por terem sido companhia, apoio e por terem feito parte dessa trajetória, vocês tornaram muitos momentos difíceis em momentos engraçados, leves e memoráveis. Amo todas vocês.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Victor Feitosa e às professoras Madiana Moreira Magalhães e Suyane Maria Luna Cruz, por fazerem desse momento ainda mais especial, é uma imensa honra.

A todos os professores do curso de Odontologia da Unifametro, por quem tenho grande carinho e estima; tenho orgulho de mencioná-los como mestres.

A Dona Magnólia e a Seu Luís, que em muitos momentos foram minha família e meu apoio aqui em Fortaleza, longe de casa. Meu muito obrigada por tanto amor e carinho, vocês sempre vão estar em meu coração. Um pai e mãe que Deus me deu. Meu melhor presente de 2018 até agora.

As minhas amigas de Tianguá, que me acompanharam e vibraram com minha felicidade e com as demais conquistas. Deus forma irmãos a partir da amizade e experimentei isso com vocês, minhas amigas/irmãs.

TRATAMENTO MAGNÉTICO INOVADOR MELHORA A DURABILIDADE DE ADESIVOS CONVENCIONAIS À DENTINA

Caroline de Oliveira Teixeira¹
Débora Evellin Miranda da Silva¹
Victor Pinheiro Feitosa²

RESUMO

Os adesivos são amplamente utilizados na Odontologia moderna, devido a sua vasta aplicabilidade clínica. Sua performance está interligada ao grau de infiltração entre o substrato condicionado. O objetivo foi avaliar a eficácia de um novo tratamento magnético na infiltração e adesão de adesivos convencionais à dentina desmineralizada. Foi incorporado 2% de Fe₃O₄ (ferrita) em forma de nanopartículas magnéticas nos adesivos convencionais de dois passos Adper Single Bond 2 - 3M (SB) e OptiBond S - Kerr (OB). Trinta molares (n=5) foram seccionados para expor dentina coronária média e restaurados com os adesivos SB e OB (controles sem nanopartículas magnéticas), SB-Mag e OB-Mag (adesivos com nanopartículas magnéticas com aproximação de ímã abaixo da camada adesiva), e OB-No Mag e SB-No Mag (adesivos com nanopartículas, mas sem o uso de ímã). Os espécimes foram restaurados (n=5) com resina Opallis (FGM), cortados em palitos de ~1mm² e avaliados pelo teste de resistência de união a microtração (μTBS) imediato e após envelhecimento em colagenase bacteriana (Sigma Aldrich). Para avaliar a qualidade da interface formada foi realizado teste de nanoinfiltração em MEV. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA de dois fatores e teste de Tukey (p<0,05). Houve queda de resistência de união nos grupos envelhecidos SB e OB controle e SB-No Mag. Os demais que foram associados as nanopartículas com o ímã, mantiveram-se μTBS estáveis após seu envelhecimento (SB-Mag e OB-Mag). Nanoinfiltração notável na camada híbrida foi verificada em todos os grupos. A adição de nanopartículas e sua associação com ímã como tratamento magnético inovador, melhora a adesão de adesivos convencionais à dentina aumentando a longevidade das restaurações.

Palavras-chave: Nanopartículas magnéticas; dentina; adesão

¹Discente em Odontologia pelo Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

²Docente em Odontologia no Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

TRATAMENTO MAGNÉTICO INOVADOR MELHORA A DURABILIDADE DE ADESIVOS CONVENCIONAIS À DENTINA

Caroline de Oliveira Teixeira¹
Débora Evellin Miranda da Silva¹
Victor Pinheiro Feitosa²

ABSTRACT

Dental adhesives are widely used in modern dentistry due to their vast clinical applicability. Their performance depend on the degree of infiltration into the etched substrate. The aim was to evaluate the efficacy of a new magnetic treatment on the infiltration and adhesion of etch-and-rinse adhesives to demineralized dentin. A 2wt% Fe₃O₄ (ferrite) in the form of magnetic nanoparticles was incorporated into two-step etch-and-rinse adhesives Adper Single Bond 2 - 3M (SB) and OptiBond S - Kerr (OB). Thirty molars were sectioned to expose mid-coronal dentin and bonded with SB and OB adhesives (controls without magnetic nanoparticles), SB-Mag and OB-Mag (adhesives with magnetic nanoparticles with magnet application below the adhesive layer), and OB-No Mag and SB-No Mag (adhesives with nanoparticles but without the use of magnet). Specimens were bonded (n=5) and evaluated by microtensile bond strength (μ TBS) test immediately or after aging in bacterial collagenase (Sigma Aldrich) challenge. To evaluate the quality of the interface formed, nanoleakage survey was performed on SEM. The data were statistically analyzed by two-way ANOVA and Tukey's test (p<0.05). There was a decrease on bond strength in the aged SB and OB control and SB-No Mag groups. Further groups that associated nanoparticles with the magnet kept stable μ TBS after aging (SB-Mag and OB-Mag). Notable nanoleakage in the hybrid layer was seen in general in all groups. The addition of nanoparticles and their association with magnet as an innovative magnetic treatment improves the adhesion of etch-and-rinse adhesives to dentin and may increases the longevity of restorations.

Keywords: Nanoparticles; dentin; adhesion.

¹Discente em Odontologia pelo Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

²Docente em Odontologia no Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Resultados do teste de resistência de união a microtração	20
Figura 2. Porcentagens dos tipos de fraturas em cada subgrupo	21
Figura 3. Micrografias representativas da nanoinfiltração	22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

[Ag(NH ₃) ₂ NO ₃]	Nitrato de prata
μm	Micrômetro
μTBS	Teste de resistência de união à microtração
Ca	Cálcio
Fe ²⁺	Ferro
Fe ₃ O ₄	Óxido de ferro - ferrita
GDMAP	Monômero 1,3-glicerol dimetacrilato-fosfato
MMPs	Metaloproteinases da matriz
MPa	Megapascal
OB- No Mag	Optibond sem aproximação ao imã
OB-Mag	Optibond com aproximação ao imã
SB- Mag	Single Bond com aproximação ao imã
SB-No Mag	Single Bond sem aproximação ao imã
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. MATERIAIS E MÉTODOS	17
2.1 Incorporação das Nanopartículas Magnéticas no Adesivo.....	17
2.2 Preparo dos espécimes	17
2.3 Teste de resistência de união a microtração (μTBS).....	18
2.4 Nanoinfiltração	18
3. RESULTADOS.....	19
4. DISCUSSÃO.....	20
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os adesivos dentais são amplamente utilizados na Odontologia moderna devido a sua vasta aplicabilidade clínica. Apresentam grande importância no processo restaurador, atuando como barreira protetora, selando os túbulos dentinários e promovendo a adesão do material restaurador à estrutura dental (VAN MEERBEEK *et al.*, 2020). Podem ser divididos em duas estratégias principais quanto ao mecanismo de adesão: convencionais (condicionamento prévio da dentina com ácido fosfórico) e autocondicionante (utilização de monômero ácido, sem necessidade de ácido em dentina). Ambos os métodos promovem retenção micromecânica aos tecidos dentais, entretanto, uma adesão química é adicionada na estratégia autocondicionante (BEDRAN-RUSSO *et al.*, 2017).

O embricamento micromecânico, se dá pelo escoamento dos monômeros entre a rede de colágeno dentinário exposta, resultando na formação da camada híbrida. Entretanto, na técnica convencional há uma capacidade limitada de infiltração adesiva entre as fibrilas expostas pelo condicionamento ácido, pois a desmineralização da dentina, com remoção completa da smear layer e smear plug, ocorre em uma profundidade de aproximadamente 8-10 micrômetros e a infiltração do sistema adesivo nas fibras colágenas, em torno de 5 micrômetros, permite a formação de nano ou micro espaços (1 a 3 micrômetros) de colágeno desprotegido que deixam a região suscetível à degradação (FRASSETTO *et al.*, 2016). Assim, a infiltração insuficiente do adesivo poder gerar zonas enfraquecidas da interface adesiva reduzindo a longevidade das restaurações (BRESCHI *et al.*, 2008; TJÄDERHANE, 2015). Em vista disso, a degradação pode ocorrer por alguns meios como degradação por hidrólise polimérica, degradação por metaloproteinases (MMPs) e nanoinfiltração (LIU *et al.*, 2011). Com isso, a zona de colágeno desprotegido representa também um dos padrões de degradação por hidrólise dos adesivos convencionais, mas não é comum na utilização dos sistemas adesivos autocondicionantes pois estes apresentam uma desmineralização menos profunda e mais minerais residuais protegendo as fibrilas (BETANCOURT *et al.*, 2019).

Dessa maneira, mesmo com os avanços das pesquisas em materiais, a interface adesiva em dentina ainda é a parte mais instável de uma restauração, pois o seu substrato heterogêneo e úmido dificulta a formação de uma camada uniforme de adesivo, o que torna um processo mais complexo. (DE MENEZES *et al.*, 2019). Caso ocorra maior infiltração do adesivo na zona de dentina desmineralizada, a hidrólise das fibras colágenas seria bastante

reduzida devido à proteção dos polímeros adesivos (HASHIMOTO, 2010). Diante disso, algumas estratégias foram elaboradas para otimizar esse processo de infiltração do monômero na matriz de colágeno, como aplicação ativa do adesivo, utilização de monômeros alternativos com maior penetração ou o uso da saturação de dentina com etanol (ZANDER-GRANDE *et al.*, 2014, BETANCOURT *et al.*, 2019, YAMAUCHI *et al.* 2020).

Conforme a necessidade de otimizar a questão da infiltração resinosa, outros métodos foram surgindo, sendo que nanopartículas magnéticas já foram aplicadas para transporte ativo de fármacos por meio da indução de forças magnéticas externas (JI *et al.*, 2018). Através dessa logística, seria interessante a incorporação de nanopartículas magnéticas ao adesivo convencional com o intuito de melhorar a espessura da camada híbrida formada e promover maior infiltração da resina adesiva. Incorporar nanopartículas de carga magnetizadas em um adesivo promoveria uma penetração ativa com o auxílio de estímulo externo do campo magnético (LI *et al.*, 2018), podendo trazer diversos benefícios à interface adesiva e à durabilidade das restaurações de resina composta.

Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar, através de testes de resistência de união (microtração) e nanoinfiltração a eficácia da incorporação de nanopartículas magnéticas em sistema adesivo convencional quanto a sua capacidade de infiltração, entre a dentina desmineralizada, influenciada por campo magnético externo. A hipótese do estudo sob investigação é: a incorporação de nanopartículas magnéticas aos adesivos comerciais convencionais e atração pelo ímã é capaz de induzir uma penetração mais profunda do adesivo gerando melhor durabilidade e menor nanoinfiltração para a adesão em dentina.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Incorporação das Nanopartículas Magnéticas no Adesivo

Foram utilizados os adesivos convencionais de dois passos Adper Single Bond 2 (SB, Lote 1914200586, 3M, St. Paul, EUA) e Optibond S (OB, Lote 7065501, Kerr, Orange, EUA) para serem incorporadas as nanopartículas magnéticas. A proporção de 98% em peso de adesivo e 2% de Fe_3O_4 (ferrita) em forma de nanopartículas magnéticas. Essas amostras foram agitadas por 1 minuto em aparelho agitador vortex para homogeneização das misturas (ANDRADE NETO *et al.*, 2017). Foram delineados os seguintes grupos, utilizando o adesivo SB e OB (controles sem nanopartículas magnéticas), SB-Mag e OB-Mag (adesivos com nanopartículas magnéticas com aproximação de imã abaixo da camada adesiva), e OB- No Mag e SB-No Mag (adesivos com nanopartículas, mas sem uso de imã).

2.2 Preparo dos espécimes

Trinta dentes ($n=5$) molares humanos hígidos extraídos foram coletados após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa Institucional, e armazenados em solução de timol 0,05% a 4°C por no máximo 4 meses após a extração. O esmalte oclusal e as raízes foram removidos, 2mm abaixo e 2mm acima da junção amelocementária, utilizando disco diamantado resfriado a água em baixa velocidade Cut Master Plus (Cut Master, Londrina, Brasil). A dentina exposta foi polida em papel abrasivo de carbetto de silício com granulação 600 durante 30 segundos sob irrigação com água para criar uma camada de esfregaço padronizada (smear layer). O ácido utilizado foi o fosfórico 37% Condac 37 (FGM, Joinville, Brasil), com condicionamento em dentina por 15 segundos e lavagem por 30 segundos, mantendo a dentina hidratada com bolinha de algodão úmida. Cada adesivo foi aplicado ativamente por 20 segundos em duas camadas. Para os grupos SB-Mag e OB-Mag foi utilizado aproximação de um imã de neodímio em forma de cubo (campo interno máximo 1,4 T, campo de superfície 0,54 T; BX0X0X0-N52, K&J Magnetics, Pipersville, EUA), foi colocado abaixo do dente para produzir a força do campo magnético por 30 segundos antes da polimerização. Os adesivos foram fotopolimerizados por 40 segundos com aparelho LED Valo (1200 mW/cm², Ultradent, South Jordan, EUA). Incrementos de resina composta micro-híbrida Opallis (FGM) foram construídos até uma altura de 5mm e fotopolimerizados individualmente por 20s.

2.3 Teste de resistência de união a microtração (μ TBS)

Os espécimes restaurados foram armazenados em água destilada 24h e mantidos em uma temperatura de 37°C. Eles foram posteriormente cortados em palitos de resina-dentina (aproximadamente 1mm² de secção transversal). Os palitos foram fixados em jigs com cola de cianoacrilato (Super Bonder gel, Loctite Henkel Corp, Rocky Hill, EUA) e testados sua resistência de união com uma célula de carga de 500N e velocidade de 1mm/min (AYDIN *et al.*, 2019). A área de cada palito foi avaliada individualmente com paquímetro digital e os resultados de microtração foram transformados em MPa e realizado uma média desses valores dos palitos de um mesmo dente foi obtida para determinar a resistência de união de cada dente (unidade estatística). Metade dos palitos foram avaliados para resultados imediatos (após 24h) e após imersão em 3h de colagenase simulando 1 ano de envelhecimento.

2.4 Nanoinfiltração

Dois palitos de resina-dentina de cada subgrupo foram selecionados e preparados para nanoinfiltração conforme descrito previamente (TAY *et al.*, 2002, FEITOSA *et al.*, 2012). Os espécimes foram imersos em solução de 50% de nitrato de prata [Ag(NH₃)₂NO₃] amoniacal em total ausência de luz por 24h. Posteriormente, foram lavados em água destilada para remoção do excesso de prata e imersos em solução reveladora por 8h sob luz fluorescente para redução de grãos de íons de prata metálica sob a interface de resina-dentina. Em seguida, os espécimes foram lavados com água destilada, secos, embutidos em resina epóxica e polidos utilizando a sequência de lixas de papel com granulações #600, #1200 e #2000 e também com pastas diamantadas de 3, 1 e 0,25 μ m (Buehler). Entre as lixas os espécimes foram limpos em cuba ultrassônica por 5 min. Posteriormente foram desidratados em sílica gel por 24 h e cobertos com carbono para avaliação em Microscópio Eletrônico de Varredura (Quanta FEG 450, FEI, Amsterdam, Holanda) no modo de elétrons retro espalhados com aumento padronizado.

3. RESULTADOS

Os resultados de resistência de união (Figura 1) entre o intervalo de tempo envelhecido e inicial apresentou queda significativa nos grupos controle OB Control e SB Control, enquanto dos grupos com nanopartículas magnéticas somente o SB No Magnet demonstrou redução da adesão ($p < 0.001$). Ambos os adesivos contendo nanopartículas magnéticas e com aproximação em imã apresentaram estabilidade nos resultados comparativos de inicial e envelhecido ($p > 0.05$). O padrão de fratura predominante em todos os grupos foi o adesivo. Os dados tabulados de padrão de fratura podem ser observados em detalhe na Figura 3. Particularmente nos grupos sem nanopartículas magnéticas OB Control e SB Control a taxa de fratura adesiva passou de aproximadamente 60% na adesão inicial para 90% e 100% respectivamente após o envelhecimento simulado.

Em relação à nanoinfiltração (Figura 3), foi observado aumento de deposição de prata com o envelhecimento simulado nos grupos sem nanopartículas magnéticas e sem o uso do imã. Além disso, o grupo SB Control mostrou intensa formação de gaps na interface dentina-camada híbrida-camada de adesivo. Os grupos OB Mag (Figs. 3C1 e 3C2) e SB Mag (Figs. 3F1 e 3F2) não mostraram notáveis diferença de nanoinfiltração entre imediato e envelhecido.

4. DISCUSSÃO

Baseado nos resultados obtidos, a hipótese de estudo sob investigação em relação a incorporação de nanopartículas magnéticas aos adesivos de condicionamento total, associada a atração pelo ímã e a sua capacidade de induzir uma penetração mais profunda do adesivo é aceita já que o tratamento magnético promoveu melhor durabilidade da adesão e menos nanoinfiltração.

Os adesivos utilizados na odontologia são divididos em duas principais categorias quanto ao mecanismo de adesão, convencional; pela remoção completa da smear layer proporcionada pelo condicionamento prévio com ácido fosfórico 37%. E outro método chamado autocondicionante, pelo uso de monômero ácido, modificando e incorporando parcialmente a smear layer. (PERDIGÃO *et al.*, 2003). Além desses, existe a classificação de adesivos universais que são modificações dos adesivos autocondicionantes (MUÑOZ *et al.* 2014) com a possibilidade de uso como autocondicionante ou convencional. Nos adesivos convencionais há uma capacidade limitada de infiltração adesiva entre as fibrilas expostas pelo condicionamento, ocorrendo uma discrepância de profundidade de desmineralização e a que os monômeros do adesivo conseguem infiltrar. Algo que não é tão comum nos autocondicionantes, devido ao uso de monômero ácido em sua composição (FRASSETTO *et al.*, 2016), que condiciona e infiltra simultaneamente. Com isso, apesar dos estudos laboratoriais indicarem o abandono do condicionamento ácido em dentina, defendendo que a melhor técnica é o condicionamento ácido seletivo do esmalte e a utilização de adesivos autocondicionantes, essa ideia é clinicamente refutada diante de estudos recentes que mostram melhor durabilidade clínica para adesivos universais quando a dentina foi condicionada com ácido fosfórico em relação aos mesmos adesivos aplicados em dentina não condicionada (MATOS *et al.*, 2020). Provavelmente, o uso do condicionamento ácido da dentina e a técnica “total-etch” será contínuo, indicando que o caminho será melhorar a infiltração desses adesivos entre as fibrilas de colágeno expostas para melhorar mais ainda a durabilidade.

Quanto ao tipo de adesivo selecionado, convencional simplificado, sendo eles SingleBond 2 e Optibond S, foram escolhidos para o presente estudo uma vez que apresentam, devido ao seu mecanismo de adesão, maior degradação relacionada a exposição de fibrilas de colágeno desprotegidas pelos polímeros do adesivo. Esse colágeno sofre rápida degradação, resultando em vários problemas clínicos da união com a dentina (FEITOSA *et al.*, 2019).

Assim, as áreas sem proteção monomérica ficam sujeitas a ação de hidrólise e das enzimas endógenas metaloproteinases (MMPs), além de outras enzimas colagenolíticas (MAZZONI *et al.*, 2006, MAZZONI *et al.*, 2015, TEKÇE *et al.*, 2016).

Além do fator da degradação da união por agente patógeno, outra questão que justifica a degradação da camada híbrida nos grupos controle e a redução da resistência de união dessas restaurações é a simplificação de passos. Pois, sabe-se que dentro do sistema “etch-and-rinse”, em termos de longevidade de retenção, o padrão ouro são os adesivos de 3 passos (VAN MEERBEEK *et al.*, 2010). Uma vez que ao unir primer e bond em um único frasco, os adesivos simplificados apresentam capacidade reduzida de infiltração, formando uma camada híbrida mais permeável e defeituosa (FEITOSA *et al.* 2019). Com isso, nos grupos controle: OB e SB, notou-se redução estatística e aumento da predominância de fraturas adesivas, indicando maior degradação da interface. Em termos de nanoinfiltração, a maior penetração do nitrato de prata indica significativa absorção de água o que prejudica a estabilidade de união da dentina e foi observada nas interfaces resina-dentina dos espécimes nos grupos controles, com aumento de fendas.

Nos grupos OB e SB No Magnet, já era esperado a degradação dos mesmos, pois ainda que contenha a presença das nanopartículas magnéticas não há tratamento magnético do imã externo, dessa forma não melhoraria a infiltração resinosa. Observou-se queda de resistência de união nos dois grupos, porém comparando os resultados houve diferença estatística significativa entre inicial e envelhecido no SB No Magnet. Enquanto que o OB No Magnet se manteve estável após o envelhecimento. Diante desse resultado, justifica-se a diferença estatística entre OB e SB No Magnet devido a composição de cada adesivo. Em ambos, houve adição das nanopartículas magnéticas, que apresentam um potencial de inibição das MMPs, devido a interação do Fe^{2+} , assim como Ca e o Zn no sítio catalítico dessas enzimas, inibindo-as por um período e diminuindo a degradação do colágeno (SOUZA; LINE, 2022). Porém, a discrepância de resultado entre inicial e envelhecido do grupo SB No Magnet se deve ao adesivo conter copolímero do ácido poliacrílico, partícula que promove união química com metais como cálcio e ferro. Contudo, a interação iônica desse ácido pode ter quelado os o ferro das nanopartículas magnéticas, impedindo que a ação inibidora de metaloproteinases ocorra nesse grupo, gerando maior degradação em comparação ao grupo OB No Magnet, que não possui copolímero ou ácido poliacrílico na sua composição. Além disso, na composição dos adesivos Optibond, inclusive na versão S, existe a presença do monômero ácido GDMAP, que

melhora a infiltração devido ao seu perfil ácido, promovendo adesão adicional quando comparado ao Single Bond.

Nos grupos com a atração magnética externa (OB Mag e SB Mag), notou-se maior infiltração e menor degradação da interface e menos colágeno exposto. Esse resultado pode ser clinicamente viável utilizando uma espátula, desenvolvida pela patente (BR1020200237527), que contém ímã em sua extremidade. Além disso, nenhum campo magnético é conhecido dentro da cavidade oral, que possa atrapalhar a aplicação do presente tratamento magnético. Entretanto, em pacientes/dentes com bráquetes ortodônticos metálicos, o ímã poderia atrapalhar o tratamento ortodôntico.

Estratégias para melhorar a infiltração e polimerização dos adesivos são muito investigadas. Uma das mais difundidas e utilizadas é a aplicação vigorosa (com agitação) do adesivo. Pois uma união resina-dentina estável pode ser alcançada se o substrato condicionado for melhor infiltrado pelo adesivo para evitar diferentes graus de impregnação incompleta (BRESCHI *et al.*, 2008, LIU *et al.*, 2011, LOGUERCIO *et al.*, 2011). Com isso, a utilização das nanopartículas associada ao ímã externo pode ser mais um adjunto para proporcionar uma maior durabilidade da interface adesiva.

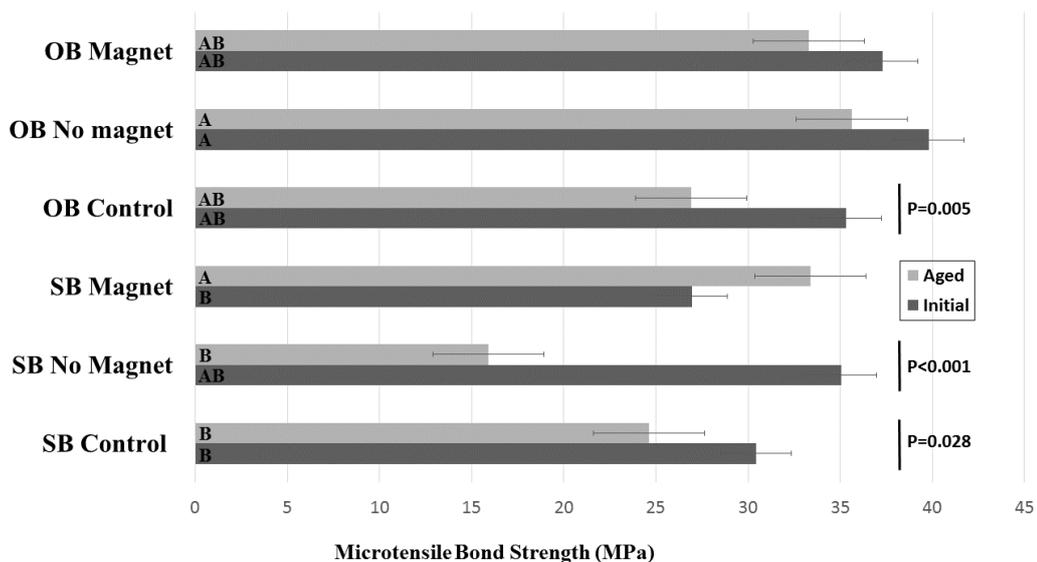


Figura 1. Resultados do teste de resistência de união a microtração em Megapascal.

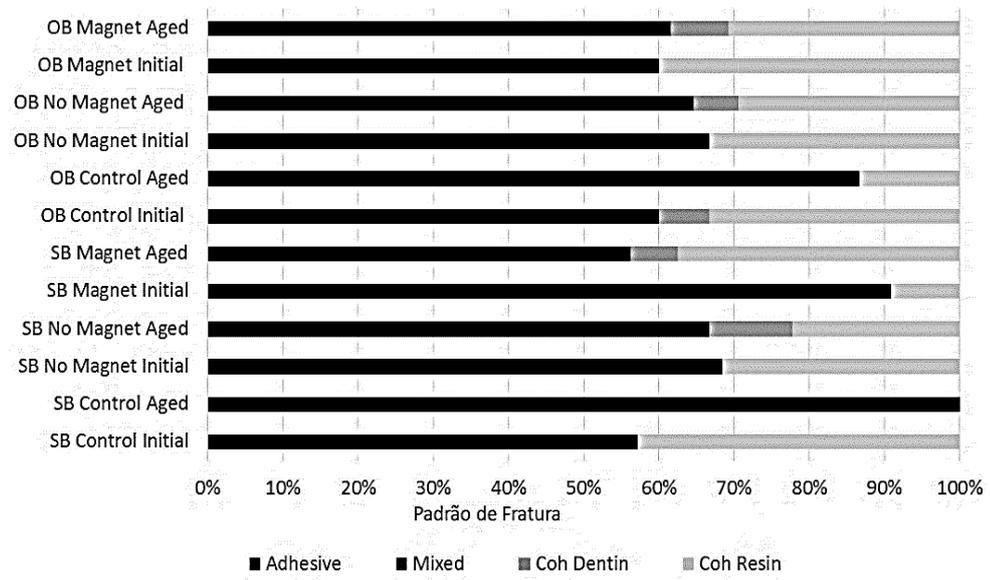


Figura 2. Porcentagens dos tipos de fraturas em cada subgrupo. O tipo mais prevalente de fratura foi adesivo para todos os grupos.

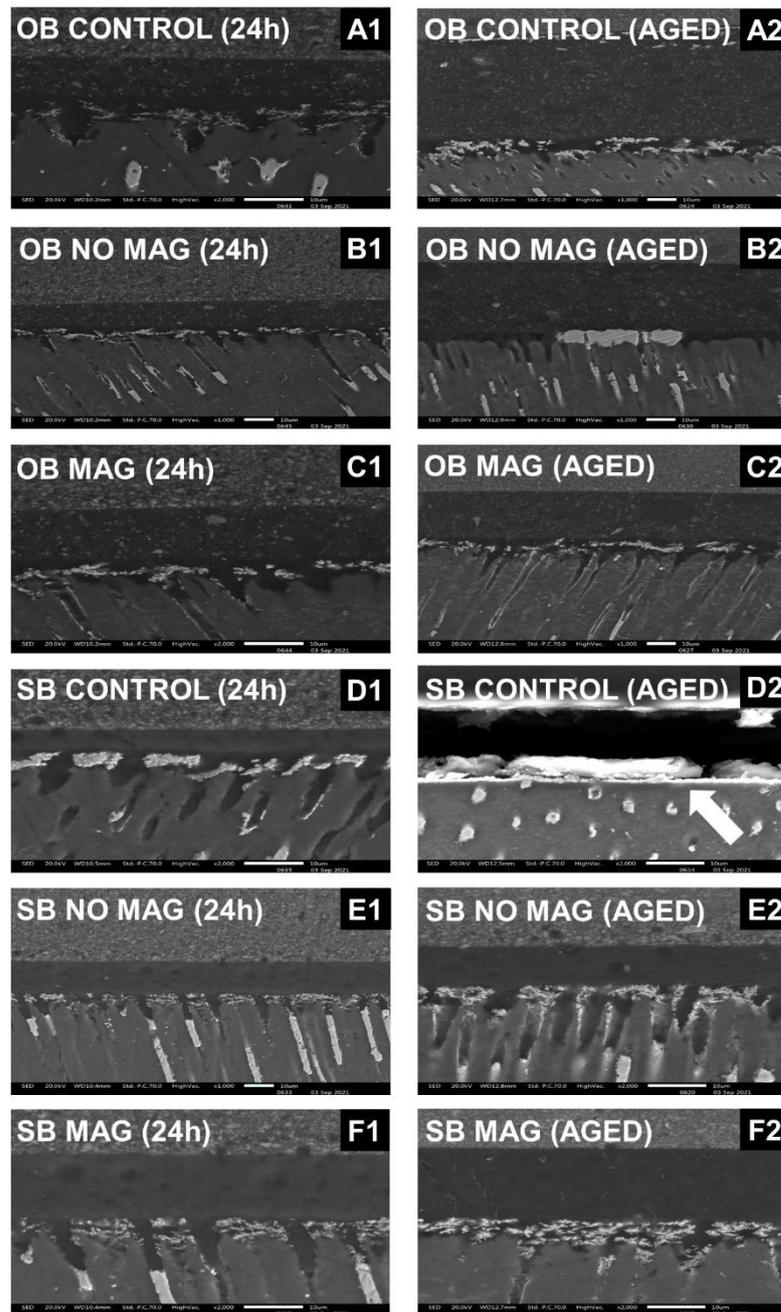


Figura 3. Micrografias representativas da nanoinfiltração mais comum em cada grupo são observadas. No adesivo Optibond controle (Figs. A1 e A2) houve leve aumento de depósitos de prata na camada híbrida após o envelhecimento simulado. Tal fato também ocorreu na comparação do OB No Mag imediato (B1) com o envelhecido (B2). Entretanto, quanto foi realizado o tratamento magnético completo com nanopartículas magnéticas no adesivo e o uso do imã, não houve diferença nos depósitos de prata para o adesivo Optibond (Figs. C1 e C2). No adesivo Single Bond controle (Figs. D1 e D2) houve grande nanoinfiltração em ambos intervalos de tempo, com formação de gaps o envelhecimento. O resultado dos grupos SB No Mag (E1 e E2) apresentou considerável aumento da deposição de nitrato de prata na camada híbrida após o envelhecimento. Já no grupo SB Mag, que contém tratamento magnético completo, muito leve aumento da deposição de prata foi detectado após o envelhecimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia inovadora utilizando incorporação de nanopartículas magnéticas ao adesivo de condicionamento e lavagem associada a indução por um ímã externo, manteve a durabilidade de adesão e indicou melhor infiltração do adesivo entre a dentina condicionada. Apresentando melhores resultados em relação aos adesivos que não foram associados ao ímã.

REFERÊNCIAS

- Andrade Neto, D.M., Freire, R.M., Gallo, J., Freire, T.M., Queiroz, D.C., Ricardo, N.M.P.S. Rapid Sonochemical Approach Produces Functionalized Fe₃O₄ Nanoparticles with Excellent Magnetic, Colloidal, and Relaxivity Properties for MRI Application. **J. Phys**, v. 121, n. 43, p. 24206–24222, 2017.
- Aydin, B.; Leme-Kraus, A.A.; Vidal, C.M.P.; Aguiar, T.R.; Phansalkar, R.S.; Nam, J.W.; Mcalpine, J.B.; Chen, S.N.; Pauli, G.F.; Bedran-Russo, A.K. Evidence to the role of interflavan linkages and galloylation of proanthocyanidins at sustaining long-term dentin biomodification. **Dent Mater**. v. 35, n. 2, p. 328-334, 2019.
- Bedran-Russo, A., Leme-Kraus, A. A., Vidal, C. M. P., & Teixeira, E. C. An Overview of Dental Adhesive Systems and the Dynamic Tooth–Adhesive Interface. **Dental Clinics of North America**, v. 61, n. 4, p. 713–731, 2017.
- Betancourt, D. E., Baldion, P. A., & Castellanos, J. E. Resin-Dentin Bonding Interface: Mechanisms of Degradation and Strategies for Stabilization of the Hybrid Layer. **International Journal of Biomaterials**, p. 1–11, 2019.
- Breschi, L., Mazzoni, A., Ruggeri, A., Cadenaro, M., Di Lenarda, R., & De Stefano Dorigo, E. Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. **Dental Materials**, v. 24, n. 1, p. 90–101, 2008.
- De Menezes, L. R., da Silva, E. O., Maurat da Rocha, L. V., Ferreira Barbosa, I., & Rodrigues Tavares, M. The use of clays for chlorhexidine-controlled release as a new perspective for longer durability of dentin adhesion. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 30, n. 12, 2019.
- Feitosa, V.P. et al. Hydrolytic degradation of the resin–dentine interface induced by the simulated pulpal pressure, direct and indirect water ageing. **Journal of Dentistry**, v. 40, n. 12, p. 1134-1143, 2012.
- Feitosa V.P, Sauro S, Zenobi W, Silva JC, Abuna G, Van Meerbeek B, Sinhoret MAC, Correr AB, Yoshihara K. Degradation of Adhesive-Dentin Interfaces Created Using Different Bonding Strategies after Five-year Simulated Pulpal Pressure. **J Adhes Dent**, v. 21, n. 3, p. 199-207, 2019.
- Feitosa, V.P; HIGASHI, C.; LOGUERCIO, A.D; REIS, A. Adesão e sistemas adesivos: O que realmente mudou depois de 30 anos? **Pro-odonto Estética**. v.4, 2017.
- Frassetto A, Breschi L, Turco G, Marchesi G, Di Lenarda R, Tay FR, Pashley DH, Cadenaro M. Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability--A literature review. **Dent Mater**, v. 32, n. 2, p. 41-53, 2016.
- Hashimoto, M. A Review Micromorphological evidence of degradation in resin-dentin bonds and potential preventional solutions. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 92, n. 1, p. 268–280, 2010.
- Ji, Y., Choi, S. K., Sultan, A. S., Chuncai, K., Lin, X., Dashtimoghadam, E. Masri, R. Nanomagnetic-mediated drug delivery for the treatment of dental disease. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 14, n. 3, p. 919–927, 2018.

- Li, J., Chen, B., Hong, N., Wu, S., & Li, Y. Effect of Baicalein on Matrix Metalloproteinases and Durability of Resin-Dentin Bonding. **Operative Dentistry**, v. 43, n. 4, p. 426–436, 2018.
- Liu Y, Tjäderhane L, Breschi L, Mazzoni A, Li N, Mao J, Pashley DH, Tay FR. Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation. **J Dent Res**, v. 90, n. 8, p. 953-68, 2011.
- Loguercio AD, Stanislawczuk R, Mena-Serrano A, Reis A. Effect of 3-year water storage on the performance of one-step self-etch adhesives applied actively on dentine. **J Dent**, v. 39, p. 578-87. 2011.
- Matos, T.P., Perdigão, J., Paula, E., Coppla, F., Hass, V., Scheffer, R.F., Reis, A., Loguercio, A.D. Five-year clinical evaluation of a universal adhesive: A randomized double-blind trial. **Dent Mater**, v. 36, n. 11, p.1474-1485, 2020
- Mazzoni A, Pashley DH, Nishitani Y, Breschi L, Mannello F, Tjäderhane L, Toledano M, Pashley EL, Tay FR. Reactivation of inactivated endogenous proteolytic activities in phosphoric acid-etched dentine by etch-and-rinse adhesives. **Biomaterials**, v. 27, n. 25, p. 4470-6, 2006.
- Mazzoni A, Tjäderhane L, Checchi V, Di Lenarda R, Salo T, Tay FR, Pashley DH, Breschi L. Role of dentin MMPs in caries progression and bond stability. **J Dent Res**, v. 94, n. 2, p. 241-51, 2015.
- Muñoz MA, Sezinando A, Luque-Martinez I, Szesz AL, Reis A, Loguercio AD, Bombarda NH, Perdigão J. Influence of a hydrophobic resin coating on the bonding efficacy of three universal adhesives. **J Dent**, v. 42, n. 5, p. 595-602, 2014.
- Perdigão J, Duarte S Jr, Lopes MM. Advances in dentin adhesion. **Compend Contin Educ Dent**, v. 24, p. 10-16, 2003.
- Souza, A.P.; Line, S.R.P.; The biology of matrix metalloproteinases. **Rev Fac Odontol Bauru**, v. 10, n. 1, p. 1-6, 2002.
- TAY, F.R., PASHLEY, D.H., YOSHIYAMA, M. Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. **J Dent Res**, v. 81, n. 7, p. 472-6, 2002.
- Tekçe N, Tuncer S, Demirci M, Balci S. Do matrix metalloproteinase inhibitors improve the bond durability of universal dental adhesives? **Scanning**, v. 38, n. 6, p. 535-544. 2016
- Tjäderhane, L. Dentin Bonding: Can We Make it Last? **Operative Dentistry**, v. 40, n. 1, p. 4–18, 2015.
- Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, De Munck J. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. **Dent Mater**, 2010.
- Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. **J Adhes Dent**, v. 22, n. 1, p. 7-34. 2020
- Yamauchi S, Wang X, Egusa H, Sun J. High-Performance Dental Adhesives Containing an Ether-Based Monomer. **J Dent Res**, v. 99, n. 2, p. 189-195, 2020
- Zander-Grande C, Amaral RC, Loguercio AD, Barroso LP, Reis A. Clinical performance of one-step self-etch adhesives applied actively in cervical lesions: 24-month clinical trial. **Oper Dent**, v. 39, n. 3, p. 228-38, 2014.