UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
Mestrado em Clínica Odontológica – Cariologia/Dentística

MURILLO WEISSHEIMER

MÉTODOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DE RESTAURAÇÕES INDIRETAS DE RESINA COMPOSTA – EFEITO NA ADESÃO À DENTINA E AO ESMALTE

Porto Alegre
2026

MURILLO WEISSHEIMER

MÉTODOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DE RESTAURAÇÕES INDIRETAS DE RESINA COMPOSTA – EFEITO NA ADESÃO À DENTINA E AO ESMALTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração em Clínica Odontológica – Cariologia/Dentística

Linha de Pesquisa: Biomateriais e Técnicas Terapêuticas em Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Eliseu Aldrighi Münchow

Porto Alegre
2026

CIP - Catalogação na Publicação

Weissheimer, Murillo
Métodos de Tratamento Superficial de Restaurações Indiretas de Resina Composta - Efeito na Adesão à Dentina e ao Esmalte / Murillo Weissheimer. -- 2026.
76 f.
Orientador: Eliseu Aldrighi Münchow.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Porto Alegre, BR-RS, 2026.

1. Resina composta indireta. 2. Tratamento de superfície. 3. Resistência de união. 4. Cimentação. 5. Eletrofiação. I. Aldrighi Münchow, Eliseu, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RESUMO

O sucesso e a longevidade das restaurações indiretas em resina composta dependem da qualidade da interface adesiva. O objetivo desta dissertação foi investigar o efeito de diferentes métodos de tratamento superficial de restaurações indiretas de resina composta na resistência de união à dentina e ao esmalte. Para isso, o trabalho foi dividido em dois artigos científicos. O primeiro artigo consistiu em uma revisão sistemática com metanálise em rede para avaliar a eficácia dos diferentes protocolos de tratamento superficial interno em relação à resistência de união. Os resultados indicaram que a eficácia dos tratamentos varia significativamente dependendo do substrato. No esmalte, a associação de jateamento com óxido de alumínio (50 µm), silano e adesivo foi a intervenção com maior probabilidade de sucesso. Na dentina, o protocolo com melhor desempenho combinou o jateamento com partículas de 50 µm, peróxido de hidrogênio a 24% e silano. O segundo artigo tratou-se de um estudo *in vitro* que avaliou o impacto de três métodos de tratamento (jateamento com óxido de alumínio, asperização com ponta diamantada fina e aplicação de malha de fibras eletrofiadas) na topografia, molhabilidade e resistência de união imediata ao cisalhamento em esmalte. Todos os tratamentos testados promoveram um aumento significativo na rugosidade da superfície em relação à inicial. Na avaliação da molhabilidade, o jateamento e a asperização aumentaram significativamente o ângulo de contato, enquanto a malha de fibras manteve a molhabilidade inicial. Apesar das alterações topográficas e de energia de superfície, não houve diferença estatisticamente significativa na resistência de união imediata entre os grupos. Os achados demonstram que a resistência de união do conjunto resina-cimento-dente exige abordagens distintas para cada substrato, com destaque para a retenção micromecânica. Ainda, métodos alternativos ao padrão-ouro mostraram-se equivalentes em termos de resistência imediata. Tais resultados sugerem a asperização como método para superar limitações de equipamentos no consultório e incentivam o desenvolvimento de matrizes de eletrofiação pela indústria odontológica.

Palavras-chave: Resina composta indireta; Tratamento de superfície; Resistência de união; Cimentação; Eletrofiação.

ABSTRACT

The success and longevity of indirect composite resin restorations depend on the quality of the adhesive interface. The objective of this dissertation was to investigate the effect of different surface treatment methods for indirect composite resin restorations on the bond strength to dentin and enamel. To this end, the study was divided into two scientific articles. The first article consisted of a systematic review with network meta-analysis to evaluate the efficacy of different internal surface treatment protocols regarding bond strength. The results indicated that the efficacy of the treatments varies significantly depending on the substrate. On enamel, the association of aluminum oxide sandblasting (50 μm), silane, and adhesive was the intervention with the highest probability of success. On dentin, the best-performing protocol combined sandblasting with 50 μm particles, 24% hydrogen peroxide, and silane. The second article was an *in vitro* study that evaluated the impact of three treatment methods (aluminum oxide sandblasting, roughening with a fine diamond bur, and application of an electrospun fiber mesh) on the topography, wettability, and immediate shear bond strength to enamel. All tested treatments promoted a significant increase in surface roughness compared to the baseline. In the wettability assessment, sandblasting and roughening significantly increased the contact angle, while the fiber mesh maintained the initial wettability. Despite the topographic and surface energy alterations, there was no statistically significant difference in immediate bond strength among the groups. The findings demonstrate that the bond strength of the resin-cement-tooth complex requires distinct approaches for each substrate, with an emphasis on micromechanical retention. Furthermore, alternative methods to the gold standard proved to be equivalent in terms of immediate bond strength. Such results suggest roughening as a method to overcome in-office equipment limitations and encourage the development of electrospinning matrices by the dental industry.

Keywords: Indirect composite resin; Surface treatment; Bond strength; Cementation; Electrospinning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5

2 OBJETIVOS 8

2.1 Objetivo Geral 8

2.2 Objetivos Específicos 8

3 HIPÓTESES 9

4 ARTIGOS 10

ARTIGO 1 11

ARTIGO 2 42

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 66

6 REFERÊNCIAS 67

1 INTRODUÇÃO

Restaurações indiretas são uma excelente opção de tratamento restaurador, podendo ser feitas em cerâmica pura, cerâmica reforçada por polímero, ou resina composta. As restaurações de resina composta podem ser confeccionadas diretamente sobre um modelo de trabalho dentário utilizando resinas laboratoriais (cerômeros) ou resina composta de uso direto, bem como através de tecnologia CAD/CAM (*computed-aided design/computer-aided manufacturing*) ou de um processo aditivo via impressão tridimensional (MAINJOT et al, 2016).

Evidências advindas de revisões sistemáticas, baseadas em acompanhamentos clínicos de até 11 anos, indicam que restaurações de resina composta diretas e indiretas apresentam desempenho e longevidade clínica semelhantes (AZEEM; SURESHBABU, 2018; DA VEIGA et al., 2016; JOSIC et al., 2023). Mesmo assim, restaurações indiretas de resina composta possuem a vantagem da fotopolimerização no ambiente extraoral, limitando o desenvolvimento de tensão de contração de polimerização à interface de cimentação, quando comparadas às restaurações diretas. Ademais, a confecção da restauração em um modelo de trabalho proporciona maior facilidade na escultura, permitindo a avaliação da oclusão através do uso de modelos montados em articuladores. Assim, pelas propriedades do material, facilidade de uso, bem como pelo preço menor quando comparado a restaurações indiretas em cerâmica, a técnica indireta com resinas é uma opção amplamente adotada por dentistas na sua prática clínica.

A cimentação de restaurações indiretas é um passo fundamental para o sucesso e a longevidade dessas restaurações. A fim de favorecer a adesão proporcionada pelo cimento, técnicas de tratamento de superfície, tanto do substrato dentário quanto da restauração em si, devem ser empregadas. Dentre os métodos disponíveis para o tratamento superficial da restauração estão os métodos mecânicos, tais como o jateamento com partículas de óxido de alumínio (Al_2O_3), a asperização da superfície com pontas diamantadas, bem como o condicionamento ácido da superfície. Quanto aos métodos químicos, a aplicação de silano e de agentes adesivos são os mais utilizados. Ainda, sabe-se que o monômero ácido mais conhecido como 10-MDP foi reconhecido como um ingrediente chave para se aumentar o potencial adesivo à dentina, e por isso, vários sistemas adesivos contemporâneos possuem esse monômero na sua formulação (FEHRENBACH et al.,

2022). Por outro lado, a presença de 10-MDP não parece ser fundamental quando se trata da adesão ao esmalte dentário (FEHRENBACH; ISOLAN; MÜNCHOW, 2021). Por fim, além da utilização separada de métodos mecânicos ou químicos, ainda existe a possibilidade de se combinar os dois métodos anteriores (MATINLINNA; LUNG; TSOI, 2018; SPITZNAGEL et al., 2014).

O mecanismo do método mecânico de tratamento superficial se baseia no aumento da rugosidade superficial da resina, aumentando a área de superfície da interface resina-cimento e favorecendo o embricamento micromecânico da restauração (SOARES et al., 2004; SPITZNAGEL et al., 2014). Diversos estudos apontam para um favorecimento da adesão através do jateamento com óxido de alumínio com partículas de 50 μm (SOARES et al., 2004; SPITZNAGEL et al., 2014; SWIFT et al., 1992). Além deste, a asperização é um método mecânico que consiste no uso de uma ponta diamantada para criar microretenções na superfície, sendo um método de fácil aplicação e baixo custo (VALENTE, 2015). Ainda, um método possível de se aumentar a área superficial de um substrato é através da aplicação de fibras poliméricas, com a vantagem de possuírem uma grande área de energia livre (BORGES et al., 2015); contudo, esse método é ainda pouco investigado.

A eletrofiação é um método simples e de baixo custo para a produção de nanofibras. A técnica consiste essencialmente na aplicação de um campo elétrico na extremidade de um capilar, por exemplo, uma agulha hipodérmica plana, de forma que a força eletrostática repulsiva supere a tensão superficial de uma solução polimérica, formando um jato do fluido que solidifica, e, com isso, ocorrendo a deposição de fibras em função da evaporação do solvente ou do resfriamento do polímero fundido. Através desse processo, malhas de fibras de escala nanométrica são produzidas com comprimento contínuo e diâmetros ajustáveis, as quais têm sua morfologia e estrutura adaptadas para diferentes fins (MERCANTE; CORRÊA, 2023).

Frente aos diferentes métodos de tratamento de superfície existentes, é necessário que seja investigado qual deles é capaz de favorecer uma maior adesão das restaurações indiretas aos diferentes substratos dentários, o que pode ser medido através de testes de resistência de união. Além disso, a adesão aos diferentes tecidos dentários se dá de diferentes formas: enquanto a adesão ao esmalte é mais simples e baseada essencialmente em retenção micromecânica, a adesão à dentina é mais complexa devido à natureza do tecido, sendo mais sensível tecnicamente e maior beneficiada por métodos químicos de tratamento superficial. Assim, este trabalho se

propõe a investigar o efeito dos métodos de tratamento superficial de restaurações indiretas de resina composta na resistência de união ao esmalte e à dentina.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste estudo foi o de investigar o efeito adesivo de diferentes métodos de tratamento superficial de restaurações indiretas de resina composta à dentina e ao esmalte.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão sistemática da literatura com meta-análise em rede para identificar o método de tratamento superficial de restaurações indiretas de resina composta mais efetivo na adesão à dentina e ao esmalte.
- Preparar uma malha de fibras eletrofiadas para servir como método de tratamento superficial de uma resina composta indireta.
- Avaliar o efeito de diferentes métodos de tratamento superficial nas propriedades superficiais de uma resina composta indireta.
- Avaliar o efeito de diferentes métodos de tratamento superficial na resistência de união ao cisalhamento de uma resina composta indireta ao esmalte.

3 HIPÓTESES

A hipótese nula é a de que não haverá diferença na resistência de união à dentina e ao esmalte em restaurações de resina composta, independentemente do tratamento de superfície utilizado.

4 ARTIGOS

Esta dissertação é composta por dois artigos científicos: uma revisão sistemática de literatura com metanálise em rede, com foco em investigar a resistência de união ao esmalte e dentina de restaurações indiretas de resina composta submetidas a diferentes métodos de tratamento superficial; e um estudo laboratorial avaliando as características topográficas e a resistência adesiva de restaurações indiretas de resina composta submetidas a três diferentes tipos de tratamento superficial.

ARTIGO 1

Qual é o melhor tratamento superficial interno na adesão de restaurações indiretas de resina composta? Uma revisão sistemática com metanálise em rede

Título curto. *Resistência adesiva de restaurações indiretas de resina composta*

Murillo Weissheimer[a], Sofia Dexheimer Montenegro[a], Eduarda Louise Lazzaretti[a], Eliseu Aldrighi Münchow[a,b]

[a] Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Ramiro Barcelos, 2492, Porto Alegre, Brazil.
[b] Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Ramiro Barcelos, 2492, Porto Alegre, Brazil.

Autor Correspondente
Prof. Dr. Eliseu Adrighi Münchow
Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Ramiro Barcelos, 2492, Santa Cecília, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. CEP 90035-004. – eliseu.munchow@ufrgs.br

**O artigo foi preparado conforme as normas do periódico Dental Materials, o qual ainda não foi submetido para apreciação ao corpo editorial.*

Qual é o melhor tratamento superficial interno na adesão de restaurações indiretas de resina composta? Uma revisão sistemática com metanálise em rede

Resumo

Objetivos: Avaliar e hierarquizar a eficácia dos diferentes protocolos de tratamento superficial interno de peças de resina composta indireta prévios à cimentação em relação à resistência de união à dentina e ao esmalte.

Métodos: Esta revisão sistemática com meta-análise em rede foi reportada seguindo as diretrizes PRISMA. Buscas foram realizadas em seis bases de dados (PubMed, Web of Science, Scopus, Embase, LILACS e SciELO) e no Google Acadêmico até janeiro de 2026, sem restrições de ano de publicação. Foram incluídos estudos in vitro que testaram tratamentos de superfície em restaurações indiretas de resina e avaliaram a resistência de união à dentina e/ou esmalte. O risco de viés foi avaliado pela ferramenta RoBDEMAT. As meta-análises em rede utilizaram um modelo bayesiano e o ranqueamento dos tratamentos foi gerado pela curva SUCRA.

Resultados: A revisão incluiu 14 estudos para síntese qualitativa e 13 para a quantitativa. A avaliação do risco de viés evidenciou lacunas metodológicas na literatura atual: o cálculo do tamanho amostral e o cegamento do operador do teste foram relatados de forma adequada por apenas um estudo, e quatro artigos apresentaram falhas no relato da randomização das amostras. Na análise em esmalte, o jateamento com óxido de alumínio (50 µm) associado ao silano e adesivo apresentou a maior probabilidade de ser a melhor intervenção (SUCRA de 82,02%). Na dentina, o melhor desempenho foi do protocolo combinando jateamento com partículas de 50 µm, peróxido de hidrogênio e silano, que liderou a hierarquia com 83,43%.

Significância: A eficácia dos tratamentos de superfície varia de forma significativa dependendo do substrato dentário. Para cimentação em esmalte, o preparo com jateamento de óxido de alumínio (50 µm), silano e adesivo é a estratégia mais eficaz. Para a dentina, a combinação de jateamento, peróxido de hidrogênio 24% e silano foi a intervenção com maior probabilidade de sucesso.

Palavras-chave: Resina composta indireta; Tratamento de superfície; Resistência de união; Meta-análise em rede; Adesão dentária.

1. Introdução

Na odontologia restauradora contemporânea, as restaurações indiretas em resina composta consolidaram-se como uma alternativa terapêutica de excelência para a reabilitação de elementos com ampla perda estrutural [1,2]. Essa modalidade restauradora oferece vantagens biomecânicas e estéticas significativas em relação à técnica direta, incluindo um maior grau de conversão polimérica, anatomia oclusal e contatos proximais superiores, além de um controle mais efetivo das tensões geradas pela contração de polimerização do material [3,4]. Contudo, o sucesso clínico e a longevidade dessas peças protéticas são fatores estritamente dependentes da obtenção de uma interface de união forte, estável e duradoura entre a superfície interna da restauração, o agente cimentante e os tecidos dentários subjacentes [5].

Apesar das excelentes propriedades físico-mecânicas, a cimentação adesiva das resinas compostas indiretas apresenta um desafio particular. Ao contrário das restaurações confeccionadas pela técnica direta, os compósitos indiretos são submetidos a métodos de polimerização adicionais—envolvendo luz, calor ou pressão—que elevam substancialmente o seu grau de conversão monomérica. Esse processamento laboratorial resulta em uma estrutura polimérica altamente densa, caracterizada pela menor quantidade de monômeros livres (ligações duplas de carbono não reagidas) e pela ausência da camada superficial inibida por oxigênio, fatores que reduzem drasticamente a reatividade química da peça protética [6,7]. Por conseguinte, a adesão entre a superfície interna da restauração de resina composta e o cimento resinoso torna-se insuficiente. Para superar essa limitação e garantir a retenção da peça, é imperativa a execução de protocolos de tratamento de superfície, cujo objetivo principal é alterar a topografia do material para criar imbricamento micromecânico e, de forma complementar, promover a reativação química necessária para o estabelecimento de uma interface adesiva forte e estável [8].

Para contornar essa baixa reatividade, uma vasta gama de protocolos de tratamento de superfície tem sido proposta e investigada na literatura, visando otimizar a resistência de união prévia à cimentação. Tais métodos englobam abordagens micromecânicas, destacando-se o jateamento abrasivo com partículas de óxido de alumínio, além de modificações físico-químicas, como a silicatização [9,10]. Frequentemente, esses tratamentos são associados à aplicação de agentes de união química—predominantemente promotores de adesão como o silano e sistemas adesivos—para otimizar a molhabilidade e estabelecer ligações covalentes

com o cimento resinoso [11,12]. No entanto, a ausência de um padrão-ouro baseado em evidências robustas dificulta a adoção de um protocolo definitivo.

Até o presente momento, a literatura científica carece de revisões sistemáticas que investiguem o efeito dos diferentes métodos de tratamento superficial interno em restaurações indiretas de resina composta. Ademais, para conduzir essa investigação, as revisões sistemáticas com meta-análises tradicionais apresentam limitações, pois restringem-se à comparação direta de apenas duas intervenções por vez (análise puramente pareada), e diante da multiplicidade de protocolos de tratamento superficial testados na literatura, a meta-análise em rede (*Network Meta-Analysis* – NMA) desponta como a abordagem estatística ideal [13]. Essa ferramenta metodológica permite a comparação simultânea de múltiplos tratamentos, integrando evidências diretas e indiretas em uma única rede de análise. Por meio da NMA, é possível não apenas estimar a eficácia relativa de cada protocolo frente aos demais, mas também gerar um ranqueamento hierárquico probabilístico das melhores intervenções. Ademais, como o comportamento da adesão difere substancialmente dependendo do substrato receptor, torna-se imperativo conduzir essa avaliação de forma estratificada para o esmalte e a dentina.

Diante do exposto, o objetivo desta revisão sistemática com meta-análise em rede foi avaliar e hierarquizar a eficácia de diferentes protocolos de tratamento superficial interno em restaurações indiretas de resina composta (abrangendo resinas de uso direto, laboratorial e blocos CAD/CAM), prévios à cimentação, em relação à resistência de união à dentina e ao esmalte.

2. Materiais e métodos

Este estudo seguiu as diretrizes de extensão da Declaração PRISMA para o relato de revisões sistemáticas com meta-análise em rede [14]. O protocolo da revisão foi registrado na plataforma *Open Science Framework* (https://osf.io/znea3). A pergunta de pesquisa foi: Qual tratamento de superfície da restauração indireta de resina composta produz maior resistência de união à dentina e ao esmalte?

2.1 Busca na literatura e fontes de informação

A busca foi conduzida por dois revisores independentes (M.W. e S.D.M.) em seis bases de dados eletrônicas: PubMed (MEDLINE), Web of Science, Scopus, Embase, LILACS e SciELO. A seguinte estratégia de busca foi criada utilizando

termos livres comumente empregados em artigos da área e adaptada para as bases de dados: ("resin bond strength" OR "shear bond strength" OR "tensile bond strength" OR μSBS OR microshear OR μTBS OR microtensile OR “pull-off” OR “pull off”) AND (dentin OR enamel) AND ("Air Abrasion" OR Airborne* OR "Particle Abrasion" OR Sandblast* OR roughening OR "dental bur" OR "surface treatment" OR "surface etching" OR silica-coating OR "silane coating" OR silanization) NOT (bracket* OR zirconia OR ceramic OR repair). A busca foi inicialmente realizada em dezembro de 2024 e atualizada no dia 15 de janeiro de 2026. Ademais, foi realizada a pesquisa por literatura cinzenta no “Google Acadêmico”. Não houve restrição quanto ao ano de publicação dos estudos.

2.2 Seleção dos estudos e critérios de elegibilidade

Previamente à seleção dos artigos, conduziu-se um processo de calibração em duas rodadas para alinhar a aplicação dos critérios de elegibilidade. Dois revisores independentes (M.W. e S.D.M.) avaliaram de forma cega os primeiros 60 títulos e resumos (30 por rodada) utilizando o aplicativo Rayyan (Qatar Computing Research Institute, Doha, Catar) [15]. Após essa etapa, o cegamento foi desativado para uma reunião de alinhamento por videoconferência, mediada por um pesquisador com experiência em revisões sistemáticas (E.A.M.). A adequação da calibração foi atestada por um coeficiente Kappa de Cohen de 0,91. Em seguida, após a remoção das duplicatas, os mesmos dois revisores realizaram a triagem principal dos títulos e resumos restantes, sendo quaisquer divergências resolvidas por consenso mediante consulta ao terceiro revisor (E.A.M.).

Os critérios de inclusão foram estudos *in vitro* que (i) avaliaram a resistência de união das restaurações indiretas em resina composta à dentina coronária e/ou ao esmalte humano ou bovino por meio dos testes de microtração, tração, microcisalhamento, cisalhamento ou push-out; (ii) testaram algum método de tratamento superficial interno de restaurações/amostras de resina composta simulando a técnica indireta; e (iii) apresentaram informações claras sobre os métodos de tratamento de superfície empregados. Foram excluídos os artigos relacionados a ensaios clínicos, revisões da literatura, estudos que avaliaram restaurações indiretas em cerâmica e a adesão de bráquetes ortodônticos, bem como estudos publicados em chinês ou outros idiomas asiáticos baseados em ideogramas.

2.3. Extração de dados

A extração de dados foi realizada por um revisor (M.W.) e exportada para o Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA). Um segundo revisor (E.A.M.) conferiu os dados extraídos, os quais incluíram o sobrenome do primeiro autor e ano de publicação do estudo, o tamanho amostral dos grupos, o substrato avaliado (dente humano/dente bovino, esmalte/dentina), a resina composta empregada, o protocolo de tratamento superficial, o cimento utilizado, as condições de armazenamento pré-teste, o teste de resistência de união, o método de envelhecimento das amostras, os resultados de resistência de união (média e desvio-padrão, em MPa), o modo de falha, e, por fim, as análises adicionais realizadas no estudo. Em caso de dados ausentes, foram feitas até duas tentativas de contato com o autor correspondente do estudo por e-mail para obter as informações necessárias.

2.4 Avaliação do risco de viés

A análise qualitativa dos estudos incluídos foi conduzida por um revisor (E.L.L.) utilizando a ferramenta RoBDEMAT [16], que considera quatro domínios para avaliar o risco de viés nos estudos: D1 – viés de alocação e planejamento; D2 – viés na preparação da amostra/espécime; D3 – viés na avaliação do desfecho; e D4 – viés no tratamento de dados e relato dos desfechos. Essa ferramenta foi empregada para classificar os estudos incluídos dentro de cada domínio e seus respectivos critérios de avaliação.

2.5 Análise estatística

Duas metanálises em rede (NMA) foram realizadas utilizando a ferramenta MetaInsight V5.1.2 [17], sendo uma para esmalte e outra para dentina. Utilizou-se o modelo estatístico bayesiano com a abordagem de Comparação Mista de Tratamentos e simulação de Monte Carlo via Cadeias de Markov. Foram empregadas 25.000 iterações para adaptação, descartando-se as primeiras 5.000 como *burn-in*. Quatro cadeias foram utilizadas no total para adaptação, com um intervalo de afinamento de 10 [18]. Os desfechos avaliados foram medidos em Megapascal (MPa) e deveriam incluir valores de média e desvio padrão (DP). Quando o estudo apresentava múltiplos braços, realizou-se um ajuste compensatório do tamanho da amostra. Uma análise independente foi conduzida usando um modelo de efeitos aleatórios, escolhido após o cálculo do Critério de Informação de Desvio (DIC), e o

tamanho do efeito foi estimado como diferença de médias (MD) com intervalos de credibilidade de 95% (CrI 95%). A consistência entre as evidências diretas e indiretas foi verificada por meio do método de divisão de nós (*node-splitting*) [19].

Para a construção das redes, na análise em esmalte, o grupo submetido a jateamento com óxido de alumínio (50 μm) associado a adesivo foi considerado o grupo de referência (controle) devido ao maior número de estudos investigando essa associação. Os demais grupos envolveram: apenas uso de adesivo; ácido fluorídrico + adesivo; ácido fluorídrico + silano + adesivo; ácido fosfórico + adesivo; ácido fosfórico + silano + adesivo; jateamento com óxido de alumínio (50 μm) + ácido fluorídrico + adesivo; jateamento com óxido de alumínio (50 μm) + ácido fluorídrico + silano + adesivo; jateamento com óxido de alumínio + silano + adesivo; e apenas silano + adesivo.

Na análise em dentina, o jateamento com óxido de alumínio (50 μm) foi utilizado como grupo de referência também por ser o tratamento mais investigado nesse substrato. Os demais grupos incluíram: silicatização (Cojet); Cojet + ácido fluorídrico + silano; Cojet + silano; apenas etanol; etanol + silano; apenas peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 24%; H_2O_2 24% combinado com silano; apenas ácido fluorídrico; ácido fluorídrico + silano; nenhum tratamento; jateamento com óxido de alumínio (250 μm); jateamento com óxido de alumínio (50 μm) combinado com adesivo, ácido fluorídrico, silano, etanol ou H_2O_2; uso de lixas (simulando ponta diamantada); silano; e silano + adesivo.

O ranqueamento relativo para cada intervenção foi avaliado utilizando a curva de Superfície Sob o *Ranking* Cumulativo (SUCRA), criando um modelo hierárquico no qual valores mais próximos de 100% sugerem um melhor potencial de união à dentina/esmalte [20]. Os resultados da análise probabilística SUCRA foram apresentados utilizando o gráfico *Litmus-Rank-O-Gram* [21].

3. Resultados

3.1 Estratégia de busca

A **Figura 1** apresenta o fluxograma do processo de seleção de artigos. A busca na literatura encontrou 1.635 títulos e resumos em 15 de janeiro de 2026. Em seguida, 847 duplicatas foram removidas, e 788 títulos e resumos foram triados. Um total de 750 estudos foram excluídos com base nos critérios de elegibilidade, e 38 artigos foram selecionados para análise do texto completo. Um estudo não pôde ser

recuperado [22]. Dos 37 artigos avaliados na íntegra, 26 foram excluídos por diversos motivos (**Material Suplementar S1**), restando 11 estudos [10-12,23-30]. A busca manual nas listas de referências e na literatura cinzenta (Google Acadêmico) resultou em nove estudos que, após aplicação dos critérios de eligibilidade, agregaram em mais três estudos incluídos na revisão [9,31,32]. No total, 14 estudos foram incluídos na revisão [9-12,23-32], dos quais 13 foram utilizados para a meta-análise [9-12,23-25,27-32] para evitar inconsistências na rede. Estudos que investigaram o efeito dos tratamentos de superfície em diferentes marcas de resina composta tiveram seus valores médios e desvios-padrão combinados para compor um único grupo de intervenção na análise.

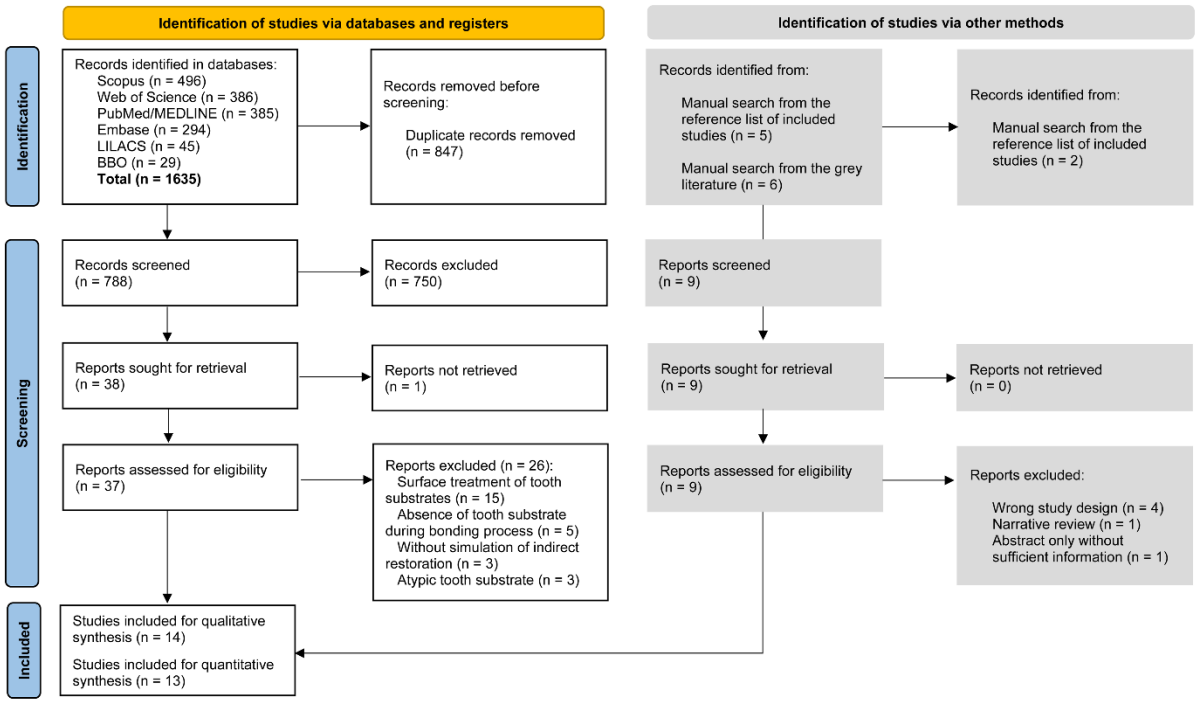


Figura 1. Fluxograma da estratégia de busca de seleção de estudos (Diretrizes do PRISMA 2020).

3.2 Análise descritiva

As características dos estudos incluídos na revisão sistemática são apresentadas na **Tabela 1**. A grande maioria das pesquisas utilizou a dentina como substrato, presente em 12 dos 14 estudos (aproximadamente 85,7%), enquanto apenas 2 estudos (cerca de 14,3%) avaliaram o esmalte, sendo um dividido em duas partes.

Tabela 1. Informações dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Autor, Ano	Substrato, origem	Teste mecânico	Resina(s) composta(s)	Cimento(s) resinoso(s)	Grupos avaliados
Batitucci 2001	Esmalte, humana	SBS	Cesead II Solidex Artglass Targis Vita Zeta LC	Variolink II	i) ADH ii) SIL + ADH iii) SDB50 + ADH iv) SDB50 + SIL + ADH v) HFA + ADH vi) HFA + SIL + ADH vii) PhA + ADH viii) PhA + SIL + ADH
Cournault 2025	Dentina, humana	SBS	Cerasmart 270	G-CEM Link Force	i) SDB50 ii) SDB250
D'arcangelo 2007	Dentina, humana	TBS	Enamel-Plus	EnamelPlus	i) SiC, ii) HFA + SIL iii) SDB50 iv) SDB50 + SIL
Ferreira 2012	Dentina, humana	SBS	belleGlass HP	RelyX ARC	i) Nenhum tratamento ii) HFA iii) SDB50
Fuentes 2012	Dentina, humana	μTBS	Filtek Z250	RelyX Unicem Maxcem Elite G-CEM RelyX ARC	i) SiC ii) SIL iii) SIL + ADH
Fuentes 2016	Dentina, humana	μTBS	Filtek Z250	RelyX Unicem Maxcem Elite G-CEM Speedcem Smartcem 2 RelyX ARC	i) SDB50 ii) SDB50 + SIL + ADH
Honda 2008	Dentina, humana	μTBS	Artglass Adoro	RelyX ARC	i) SDB50 + ADH ii) SDB50 + SIL + ADH
Martins 2002	Dentina, bovina	SBS	belleGlass HP	Nexus-2	i) SiC ii) HFA iii) SIL iv) HFA + SIL v) SDB50 vi) Cojet vii) SDB50 + SIL viii) SDB50 + HFA + SIL ix) Cojet + SIL x) Cojet + HFA + SIL
Pagani 2004	Dentina, bovina	SBS	Artglass Targis	Enforce Panavia F	i) SDB50 + HFA + SIL ii) HFA + SIL
Pinto 2020	Dentina, bovina	μTBS	Solidex	RelyX Ultimate	i) SDB50 + SIL + ADH ii) SDB50 + SIL
Poskus 2015	Dentina, bovina	Push-out	Sinfony	RelyX ARC	i) Nenhum tratamento ii) SDB50 iii) SDB50 + SIL iv) HFA v) HFA + SIL vi) SDB50 + HFA vii) SDB50 + HFA + SIL viii) Ethanol iv) Ethanol + SIL x) SDB50 + Ethanol xi) SDB50 + Ethanol + Sil xii) H2O2 xiii) H2O2 + SIL xiv) SDB50 + H2O2 xv) SDB50 + H2O2 + SIL
Prochnow 2014	Dentina, humana	μTBS	Sinfony	RelyX ARC	i) Cojet + SIL ii) Nenhum tratamento
Ritter 2019	Dentina, bovina	μTBS	Lava Ultimate	RelyX Ultimate RelyX Unicem2	i) Cojet + SIL ii) Nenhum tratamento
Swift 1992	Esmalte, humana	SBS	Herculite XRV	Porcelite Dual-Cure	Parte 1 i) SDB50 + ADH ii) HFA + ADH iii) SDB50 + HFA + ADH Parte 2 i) SDB50 + ADH ii) SDB50 + SIL + ADH iii) SDB50 + HFA + ADH iv) SDB50 + HFA + SIL + ADH

SBS: resistência de união ao cisalhamento; TBS: resistência de união à tração; μTBS: resistência de união à microtração; ADH: adesivo; SIL: silano; SDB50: jateamento com partículas de Al_2O_3 de 50 μm; HFA: ácido fluorídrico; PhA: ácido fosfórico; SDB250: jateamento com partículas de Al_2O_3 de 250 μm; SiC: Asperização com lixa abrasiva; Cojet: silicatização.

Quanto à origem, os dentes dividiram-se entre humanos e bovinos, com a resistência de união sendo aferida predominantemente pelos testes de cisalhamento (SBS) e microtração (μTBS). Em relação aos grupos avaliados, as metodologias concentraram-se na comparação de diversos protocolos de tratamento de superfície prévios à cimentação.

Grande parte das investigações testou tratamentos micromecânicos, com destaque para o jateamento com óxido de alumínio (SDB50 e SDB250), a silicatização (Cojet) e a asperização com lixa abrasiva (SiC). O condicionamento químico também foi amplamente abordado, utilizando principalmente o ácido fluorídrico (HFA) e o ácido fosfórico (PhA). A principal tendência observada nos grupos de teste foi a combinação destas alterações topográficas com agentes de união, sendo extremamente comum a associação dos métodos de jateamento ou condicionamento ácido com a aplicação de silano (SIL) e sistemas adesivos (ADH) em um mesmo protocolo. Por fim, alguns estudos incluíram grupos sem nenhum tratamento prévio para atuar como controle na avaliação da eficácia adesiva.

3.3 Análise do risco de viés

Na avaliação do risco de viés pela ferramenta RoBDEMAT, o domínio D1 (viés no planejamento e alocação) revelou que a maioria dos estudos (n=12; 85,7%) considerou um dos grupos experimentais como controle do estudo, restando dois com risco incerto neste item (14,3%). A randomização das amostras foi descrita adequadamente em 10 estudos (71,4%), ao passo que quatro (28,6%) presentaram falhas nesse relato. Apenas um trabalho (7,1%) apresentou justificativa e relato adequado do tamanho da amostra (cálculo amostral).

Em relação ao domínio D2 (viés na preparação da amostra/espécime), 13 estudos (92,9%) detalharam suficientemente a padronização das amostras e dos materiais, havendo apenas um caso de risco incerto (7,1%). Além disso, a totalidade das investigações (100%) descreveu de forma satisfatória as condições experimentais idênticas entre os grupos.

No domínio D3 (viés na avaliação de resultados), todos os artigos (100%) garantiram procedimentos e desfechos de testes adequados e padronizados. Contudo, o cegamento do operador do teste foi adotado por apenas um estudo (7,1%). Por fim, no domínio D4 (viés no tratamento de dados e na apresentação de resultados), a análise estatística foi descrita de maneira apropriada em 13 artigos

(92,9%), com apenas um relato incerto (7,1%). Onze estudos (78,6%) apresentaram seus desfechos de forma clara, enquanto três (21,4%) foram classificados com risco incerto de viés nesse aspecto. A síntese dos resultados da análise de risco de viés está ilustrada na **Figura 2**.

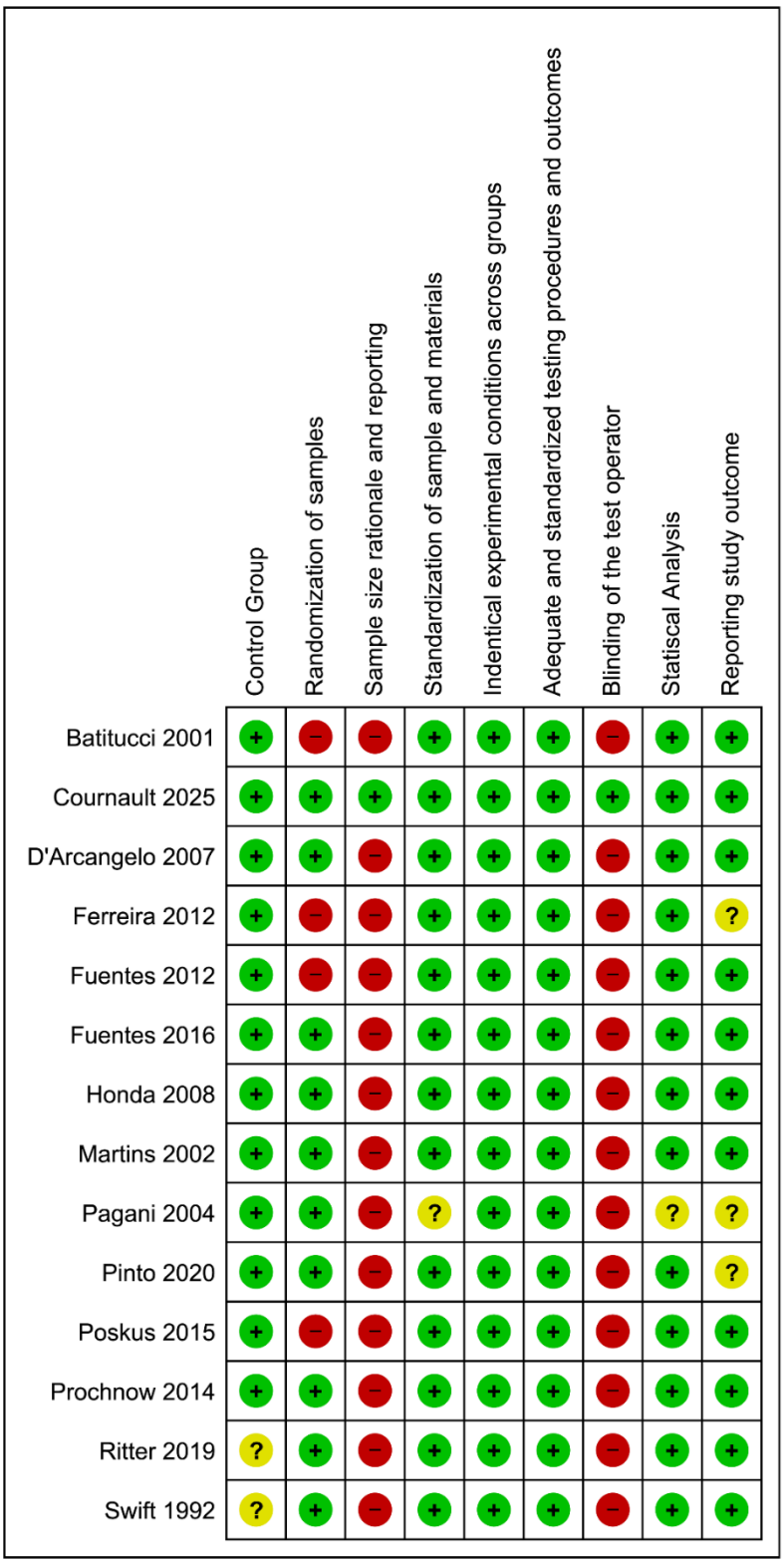


Figura 2. Análise do risco de viés dos estudos incluídos na revisão sistemática, conforme a ferramenta RoBDEMAT.

3.4 Meta-análise em rede

3.4.1 Resultados em esmalte

Trinta e quatro comparações pareadas com dados diretos foram utilizadas para construir a meta-análise em rede. Nenhuma inconsistência foi encontrada. A meta-análise em rede foi conduzida utilizando dados extraídos de duas publicações. Como uma delas englobava dois experimentos distintos, os dados foram tratados de forma independente, resultando em três estudos de múltiplos braços para a análise estatística (**Figura 3A**), em que os grupos de jateamento com óxido de alumínio 50 µm + adesivo (SDB50_ADH – Controle), ácido fluorídrico (HFA_ADH) e jateamento com óxido de alumínio 50 µm + silano + adesivo (SDB50_SIL_ADH) representam os grupos mais frequentemente testados.

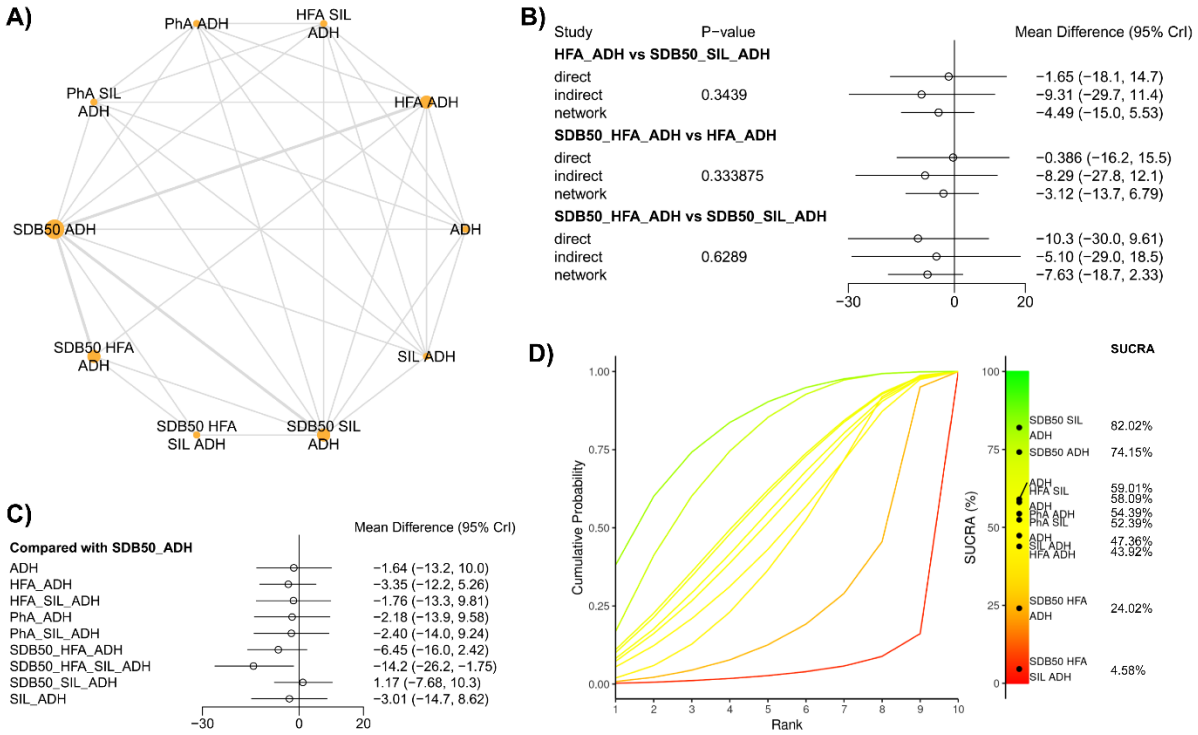


Figura 3. Resultados da NMA realizada com dados de resistência de união ao esmalte. (A) gráfico da rede de conexão dos tratamentos superficiais testados; (B) gráfico do teste split-node analysis que indica consistência entre evidência direta e indireta; (C) gráfico floresta da evidência mista que compara a diferença média (em MPa) entre o tratamento referência (SDB50_ADH) e os demais métodos de tratamento superficial, com os respectivos intervalos de credibilidade (CrI); e (D) gráfico do ranqueamento (análise SUCRA) dos diferentes tratamentos superficiais. ADH – adesivo; HFA – ácido fluorídrico 9-10%; PhA – ácido fosfórico 37%; SDB50 – jateamento com partículas de óxido de alumínio 50 µm; SIL – silano.

Para avaliar a suposição de consistência do modelo, realizou-se a análise de inconsistência local (*node-splitting*), cujos resultados estão ilustrados na **Figura 3B**.

A análise não revelou discrepâncias significativas entre as evidências diretas e indiretas para as comparações testadas, com valores de *p* variando entre 0,33 e 0,63. Isso confirma a concordância e a robustez das estimativas geradas pela metanálise em rede.

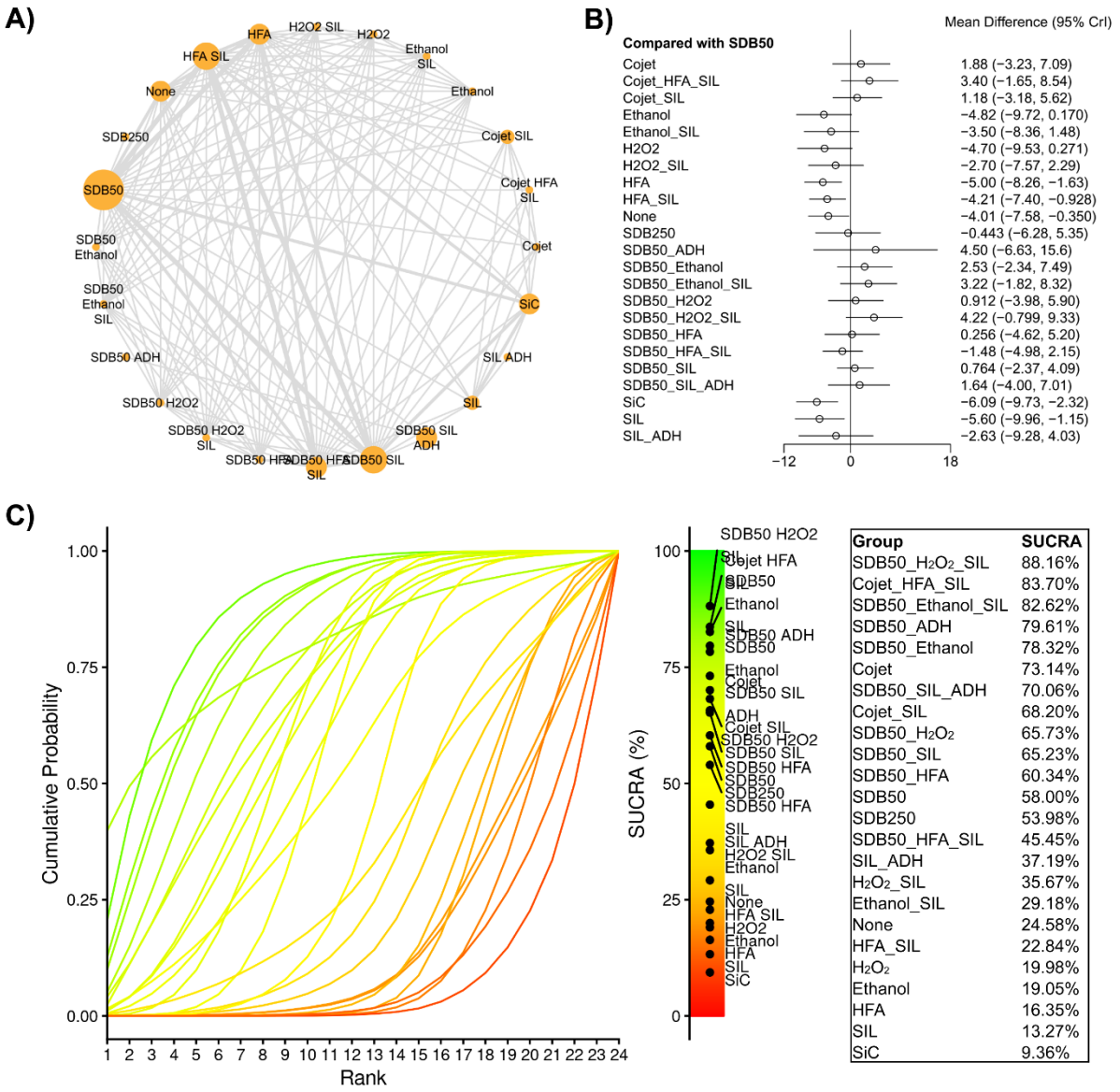
As comparações da meta-análise de rede contra o grupo de referência SDB50_ADH estão sumarizadas no *Forest plot* (**Figura 3C**). Com exceção do grupo SDB50_HFA_SIL_ADH, que apresentou uma redução estatisticamente significativa (DM -14,2; CrI 95% -26,2 a -1,75), todos os demais tratamentos avaliados demonstraram intervalos de credibilidade de 95% que cruzaram o limiar de significância, indicando ausência de diferença estatística em relação ao SDB50_ADH.

A hierarquia dos tratamentos foi avaliada por meio da análise SUCRA, ilustrada na **Figura 3D**. Os resultados demonstraram que o tratamento SDB50_SIL_ADH apresentou a maior probabilidade de ser a melhor intervenção (82,02%), seguido pelo grupo SDB50_ADH (74,15%). Em contrapartida, o grupo SDB50_HFA_SIL_ADH obteve a menor pontuação no *ranking* (4,58%), indicando a maior probabilidade de ser o tratamento menos eficaz entre os avaliados.

Os resultados completos de todas as comparações avaliadas nessa meta-análise em rede são apresentados no **Material Suplementar S2**. A ampla maioria das intervenções não divergiu estatisticamente entre si. As únicas diferenças estatisticamente significativas em toda a rede envolveram o protocolo SDB50_HFA_SIL_ADH. Este tratamento apresentou resultados de resistência de união significativamente inferiores quando comparado tanto ao grupo SDB50_ADH (DM -14,19; CrI 95% -26,16 a -1,75) quanto ao SDB50_SIL_ADH (DM -15,37; CrI 95% -27,56 a -2,95).

3.4.2 Resultados em dentina

Cento e quarenta e sete comparações pareadas com dados diretos foram utilizadas para construir a meta-análise em rede. Uma inconsistência foi encontrada na análise de sensibilidade, assim, o estudo de Prochnow et al. [26] foi excluído da rede e a inconsistência corrigida. A meta-análise em rede foi elaborada utilizando 11 estudos, dos quais seis foram de braço duplo e cinco de braços múltiplos. A **Figura 4A** ilustra o gráfico de rede para as comparações dos tratamentos de superfície em dentina. O grupo SDB50 (controle) foi o tratamento mais frequentemente avaliado na literatura incluída.



Group	SUCRA
SDB50_H_2O_2_SIL	88.16%
Cojet_HFA_SIL	83.70%
SDB50_Ethanol_SIL	82.62%
SDB50_ADH	79.61%
SDB50_Ethanol	78.32%
Cojet	73.14%
SDB50_SIL_ADH	70.06%
Cojet_SIL	68.20%
SDB50_H_2O_2	65.73%
SDB50_SIL	65.23%
SDB50_HFA	60.34%
SDB50	58.00%
SDB250	53.98%
SDB50_HFA_SIL	45.45%
SIL_ADH	37.19%
H_2O_2_SIL	35.67%
Ethanol_SIL	29.18%
None	24.58%
HFA_SIL	22.84%
H_2O_2	19.98%
Ethanol	19.05%
HFA	16.35%
SIL	13.27%
SiC	9.36%

Figura 4. Resultados da NMA realizada com dados de resistência de união à dentina. (A) gráfico da rede de conexão dos tratamentos superficiais testados; (B) gráfico floresta da evidência mista que compara a diferença média (em MPa) entre o tratamento referência (SDB50) e os demais métodos de tratamento superficial, com os respectivos intervalos de credibilidade (CrI); e (C) gráfico do ranqueamento (análise SUCRA) dos diferentes tratamentos superficiais. ADH – adesivo; Cojet – silicatização; Ethanol – etanol 70%; H_2O_2 – peróxido de hidrogênio 24%; HFA – ácido fluorídrico 9-10%; None – nenhum tratamento realizado; SDB50 – jateamento com partículas de óxido de alumínio 50 µm; SiC – lixa abrasiva; SIL – silano.

O *forest plot* resultante da meta-análise de rede (**Figura 4B**) sumariza as diferenças de médias dos tratamentos de superfície em comparação ao grupo de referência SDB50. A análise demonstra que a maioria das intervenções não diferiu estatisticamente do controle adotado. Contudo, os tratamentos isolados com HFA (DM -5,00; CrI 95% -8,26 a -1,63), SiC (DM -6,09; CrI 95% -9,73 a -2,32), SIL (DM -

5,60; CrI 95% -9,96 a -1,15), a combinação HFA_SIL (DM -4,21; CrI 95% -7,40 a -0,928) e a ausência de tratamento prévio (None; DM -4,01; CrI 95% -7,58 a -0,350) resultaram em um desempenho estatisticamente inferior quando comparados ao SDB50.

A **Figura 4C** demonstra as curvas de probabilidade cumulativa e o *ranking* SUCRA para os protocolos de superfície avaliados. O tratamento SDB50_H_2O_2_SIL liderou a hierarquia (88,16%), seguido pelos grupos Cojet_HFA_SIL (83,70%) e SDB50_Ethanol_SIL (82,62%). Observou-se um bloco de tratamentos com eficácia intermediária a alta, com valores SUCRA variando aproximadamente entre 53,98% (SDB250) e 79,61% (SDB50_ADH). No extremo inferior do *ranking*, a aplicação isolada de lixas (SiC) configurou-se como a intervenção menos favorável (9,36%), seguida pelo uso isolado de silano (SIL; 13,27%), ácido fluorídrico (HFA; 16,35%), etanol (19,05%) e H_2O_2 (19,98%), todos com probabilidade de sucesso inferior à ausência de tratamento prévio (None; 24,58%).

Os resultados completos de todas as comparações avaliadas na meta-análise em rede de dentina são apresentados no **Material Suplementar S2**. O tratamento com Cojet_HFA_SIL apresentou resistência de união significativamente maior quando comparado aos grupos HFA, HFA_SIL, SiC, SIL e ao grupo sem tratamento (*None*). De forma semelhante, as intervenções Cojet e Cojet_SIL, bem como as associações SDB50_SIL e SDB50_HFA_SIL, superaram estatisticamente os tratamentos isolados (HFA, SiC e SIL). Entre os protocolos do bloco superior, não houve diferença estatisticamente significativa.

4. Discussão

O presente estudo buscou avaliar qual tratamento de superfície da restauração indireta de resina composta produz maior resistência de união à dentina e ao esmalte. Os achados desta meta-análise em rede demonstraram que a eficácia dos protocolos varia significativamente conforme o substrato de adesão. Para a união ao esmalte, o tratamento que associou o jateamento com óxido de alumínio 50 µm, aplicação de silano e sistema adesivo (SDB50_SIL_ADH) apresentou a maior probabilidade de ser a melhor intervenção, alcançando o topo do ranking SUCRA com 82,02%. Por outro lado, na avaliação da adesão em dentina, o protocolo composto por jateamento com óxido de alumínio 50 µm, peróxido de hidrogênio e silano (SDB50_H_2O_2_SIL) obteve o melhor desempenho, liderando a hierarquia com 88,16% de probabilidade de

superioridade. Dessa forma, os resultados suportam que a maximização da resistência de união exige a seleção de uma abordagem específica para cada cenário.

A eficácia superior do grupo SDB50_SIL_ADH corrobora a importância da sinergia entre o preparo micromecânico e a união química. O jateamento com óxido de alumínio atua promovendo o aumento da rugosidade superficial, o que cria micro retenções essenciais para o imbricamento micromecânico do cimento [33]. A aplicação do silano—uma molécula bifuncional capaz de unir porções inorgânicas e orgânicas—permite formar ligações químicas entre as partículas de carga expostas na resina composta e a matriz orgânica do cimento resinoso [34]. Além disso, o silano otimiza a molhabilidade da superfície, o que favorece a penetração do sistema adesivo nas micro retenções formadas [35].

Em contraste, a adição do ácido fluorídrico a este mesmo protocolo (SDB50_HFA_SIL_ADH) resultou no pior desempenho de toda a rede de esmalte, com uma probabilidade de apenas 4,58% de ser a intervenção mais eficaz. Estatisticamente, esse tratamento apresentou resultados de resistência de união significativamente inferiores tanto em relação ao grupo SDB50_ADH quanto ao SDB50_SIL_ADH. Embora o ácido fluorídrico seja o condicionador de escolha para o tratamento de cerâmicas vítreas [36], a sua aplicação na superfície interna de resinas compostas indiretas, especialmente após o micro jateamento, parece exercer um efeito deletério. Esse comportamento sugere que o sobre condicionamento pode degradar excessivamente a matriz orgânica da resina ou destruir a topografia favorável previamente gerada pelo jateamento com óxido de alumínio, comprometendo substancialmente a estabilidade da interface adesiva.

Com relação ao bloco de eficácia intermediária avaliado nos testes em esmalte, a meta-análise revelou que a ampla maioria das intervenções não divergiu estatisticamente do grupo controle. Protocolos que utilizaram condicionamento químico isolado, como o ácido fluorídrico (HFA_ADH) ou o ácido fosfórico (PhA_ADH), bem como a aplicação exclusiva de silano e adesivo (SIL_ADH), apresentaram intervalos de credibilidade que cruzaram o limiar de significância. Esse achado sugere que, embora esses métodos promovam algum grau de limpeza superficial ou melhorem a reatividade química do material, eles não superam o padrão-ouro de retenção micromecânica associada à silanização (SDB50_SIL_ADH). A incapacidade de ácidos isolados alterarem significativamente a topografia de compósitos altamente polimerizados explica a posição mediana desses grupos no

ranking SUCRA, reforçando que a agressão química sem o micro jateamento prévio é insuficiente para maximizar a resistência de união [37,38].

Na avaliação da adesão à dentina, o tratamento de superfície com jateamento de óxido de alumínio (50 μm) seguido da aplicação de H_2O_2 e silano (SDB50_H2O2_SIL), demonstrou a maior probabilidade de ser a intervenção mais eficaz, liderando o ranking com um SUCRA de 88,16%. O sucesso desse protocolo pode ser atribuído à ação complementar e sinérgica de seus passos. Enquanto o jateamento promove as micro retenções fundamentais na superfície da resina composta indireta, o H_2O_2 atua como um forte agente oxidante que causa a clivagem das ligações de carbono da matriz polimérica, convertendo-as em grupos hidroxila (OH^-). Esses grupos recém-formados fornecem sítios funcionais ativos que reagem quimicamente com as moléculas bifuncionais do silano. Adicionalmente, a aplicação do silano desempenha o papel crucial de reverter o potencial efeito inibitório do peróxido na polimerização do cimento resinoso, uma vez que o solvente presente em sua composição (etanol) atua na remoção dos subprodutos residuais de oxigênio, consolidando assim uma interface de união micromecânica e química altamente eficaz [10,39]. É importante pontuar que apenas um estudo [10], de todos os incluídos na revisão, investigou a associação entre H_2O_2 e demais produtos, sendo mais estudos necessários para confirmação. Tal mecanismo também explica o bom resultado do grupo SDB50_Ethanol_Sil (SUCRA 82,62%).

Outro tratamento que ocupou o topo da hierarquia foi o Cojet_HFA_SIL (83,70%), reforçando o conceito de que associar a retenção micromecânica a agente químicos otimiza substancialmente a estabilidade da interface adesiva. Ao contrário do jateamento com óxido de alumínio convencional—que promove uma alteração estritamente micromecânica—, o sistema Cojet utiliza energia triboquímica para cravar partículas de sílica na matriz da resina indireta. Esse processo não apenas garante o imbricamento mecânico essencial, mas também cria um leito de sílica altamente reativo, otimizando a formação de ligações siloxanas estáveis durante a subsequente aplicação do silano [25,40].

Os resultados também evidenciaram um bloco de tratamentos com eficácia intermediária a alta (SUCRA entre 65,23% e 79,61%) composto predominantemente por protocolos que incluem o jateamento abrasivo (SDB50_ADH, SDB50_Ethanol, SDB50_SIL) ou a silicatização (Cojet). A ausência de diferenças estatísticas significativas entre as intervenções deste bloco confirma que a alteração topográfica

mecânica é o requisito primário para o sucesso da adesão de resinas indiretas à dentina.

No extremo inferior do ranking, tratamentos que não promoveram alteração topográfica expressivas ou que atuaram de forma isolada falharam em fornecer níveis adequados de resistência de união. O uso exclusivo de lixas abrasivas (SiC; SUCRA: 9,36%), a aplicação isolada de silano (SIL; 13,27%) ou o uso exclusivo de ácido fluorídrico (HFA; 16,35%) figuraram como as intervenções menos favoráveis, com probabilidade de sucesso inferior até mesmo aos grupos sem nenhum tratamento prévio (None; 24,58%). Intervenções baseadas em HFA, SiC, SIL e a combinação HFA_SIL resultaram em um desempenho estatisticamente inferior ao grupo controle (SDB50). Esses dados indicam que a superfície das resinas compostas indiretas é refratária a condicionamentos químicos isolados e à abrasão superficial leve. Sem retenções geradas pelo jateamento mecânico, os agentes de união são incapazes de suportar o cimento resinoso de forma eficaz para resistir às tensões geradas na interface com a dentina.

Um aspecto metodológico que merece destaque nesta revisão é a predominância de ensaios de cisalhamento (SBS) e microtração (μTBS) para a aferição da resistência de união. Embora a meta-análise tenha agrupado os dados provenientes de todos esses métodos mecânicos para compor a rede principal, é importante ressaltar que análises estratificadas pelo tipo de teste foram conduzidas e não demonstraram diferenças estatisticamente significativas nos desfechos. Em contraste à predominância de testes em superfícies planas, apenas um estudo optou pelo teste de *push-out* [10]. Diferentemente dos testes realizados em superfícies dentárias planas, o ensaio de *push-out* avalia a adesão em um modelo de confinamento tridimensional. Esse arranjo simula com maior fidelidade a retenção friccional e o alto fator de configuração da cavidade (Fator C) inerentes à cimentação de restaurações indiretas, como *inlays* e *onlays* [41]. Essa abordagem permitiria avaliar de forma mais realista como os diferentes protocolos adesivos suportam o estresse de contração de polimerização do cimento resinoso dentro de um preparo confinado, aproximando ainda mais os resultados laboratoriais do comportamento clínico esperado para as resinas compostas indiretas.

Sob a perspectiva clínica, a transição dos achados in vitro para a prática odontológica diária exige cautela, ponderando a eficácia do tratamento com a sua viabilidade técnica. Para cimentações onde o esmalte é o substrato predominante, a

adoção do protocolo que associa jateamento com óxido de alumínio (50 µm), silano e adesivo (SDB50_SIL_ADH) não apenas se mostrou estatisticamente superior, mas também reflete uma técnica altamente exequível e já consolidada nos consultórios. No que tange à adesão em dentina, embora o uso do peróxido de hidrogênio (SDB50_H_2O_2_SIL) tenha liderado o ranqueamento de eficácia, a sua incorporação exige um passo clínico adicional sensível à técnica. Além disso, mais estudos clínicos são necessários para comprovar a eficácia dessa técnica. Protocolos pertencentes ao bloco de eficácia intermediária a alta, como a silicatização (Cojet) ou o jateamento convencional seguido de silano (SDB50_SIL), permanecem como escolhas clínicas seguras e previsíveis. Outrossim, os achados desta rede reforçam que a prática de cimentar resinas indiretas baseada apenas em condicionar a peça de resina composta com ácido fluorídrico ou ácido fosfórico deve ser evitada, pois a ausência de imbricamento micromecânico robusto gerado pelo jateamento compromete a resistência de união à dentina.

Apesar dos resultados estatísticos obtidos por meio da meta-análise em rede, esta revisão sistemática apresenta limitações inerentes aos estudos primários incluídos que devem ser consideradas na interpretação dos achados. Primeiramente, a totalidade das investigações selecionadas baseia-se em ensaios *in vitro*, os quais, apesar de essenciais para a compreensão dos mecanismos adesivos, não conseguem replicar integralmente a complexidade do ambiente oral, como as variações contínuas de pH, a degradação hidrolítica a longo prazo e o estresse oclusal dinâmico [42]. Adicionalmente, a avaliação do risco de viés pela ferramenta RoBDEMAT evidenciou lacunas metodológicas críticas na literatura atual: o cálculo do tamanho da amostra e o cegamento do operador durante a execução dos testes foram relatados de forma adequada por apenas um estudo (7,1%). Além disso, a randomização das amostras apresentou falhas de relato em quatro artigos (28,6%), o que pode comprometer a validade interna de parte das evidências. Também foi observada uma assimetria no volume de dados entre os substratos, uma vez que apenas dois estudos avaliaram a união ao esmalte, em contraste com os 11 estudos utilizados para a meta-análise da dentina. Por fim, ressalta-se que o protocolo com o melhor desempenho predito na rede de dentina (SDB50_H_2O_2_SIL) foi investigado por um único trabalho incluído [10], o que exige cautela em sua generalização clínica até que novos ensaios corroborem tal achado.

5. Conclusões

Dentro das limitações desta revisão sistemática e meta-análise em rede de estudos *in vitro*, pode-se concluir que a eficácia dos protocolos de tratamento de superfície para restaurações indiretas em resina composta varia significativamente de acordo com o substrato de adesão. Para maximizar a resistência de união:

1. No Esmalte**:** A associação de jateamento com óxido de alumínio (50 μm), aplicação de silano e sistema adesivo é a estratégia mais eficaz. O sobre condicionamento com a adição de ácido fluorídrico a esse protocolo exerce um efeito deletério e deve ser evitado.
2. Na Dentina**:** O protocolo composto por jateamento com óxido de alumínio (50 μm), peróxido de hidrogênio e silano demonstrou a maior probabilidade de superioridade. A alteração topográfica mecânica (como o jateamento ou a silicatização) é o requisito primário para o sucesso neste substrato; tratamentos baseados apenas em condicionamento químico isolado, abrasão superficial leve e nenhum tratamento falham em fornecer níveis adequados de união.

Agradecimentos

Os autores são gratos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código 001) pelo financiamento à pesquisa.

Referências

[1] Barabanti N, Preti A, Vano M, Derchi G, Mangani F, Cerutti A. Indirect composite restorations luted with two different procedures: A ten years follow up clinical trial. J Clin Exp Dent 2015;7:e54-9. https://doi.org/10.4317/jced.51604.

[2] Jongsma LA, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Clinical success and survival of indirect resin composite crowns: results of a 3-year prospective study. Dent Mater 2012;28:952-60. https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.04.007.

[3] Dejak B, Młotkowski A. A comparison of stresses in molar teeth restored with inlays and direct restorations, including polymerization shrinkage of composite resin and

tooth loading during mastication. Dent Mater 2015;31:e77-87. https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.11.016.

[4] Ozakar-Ilday N, Zorba YO, Yildiz M, Erdem V, Seven N, Demirbuga S. Three-year clinical performance of two indirect composite inlays compared to direct composite restorations. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2013;18:e521-8. https://doi.org/10.4317/medoral.18491.

[5] Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. J Esthet Restor Dent 2014;26:382-93. https://doi.org/10.1111/jerd.12100.

[6] Malta DA, Magne P, Monteiro-Junior S. Bond strength and monomer conversion of indirect composite resin restorations, Part 1: Light vs heat polymerization. J Adhes Dent 2014;16:517-22. https://doi.org/10.3290/j.jad.a33199.

[7] Nandini S. Indirect resin composites. J Conserv Dent 2010;13:184-94. https://doi.org/10.4103/0972-0707.73377.

[8] Takahashi N, Yabuki C, Kurokawa H, Takamizawa T, Kasahara Y, Saegusa M, et al. Influence of surface treatment on bonding of resin luting cement to CAD/CAM composite blocks. Dent Mater J 2020;39:834-43. https://doi.org/10.4012/dmj.2019-247.

[9] Ferreira FM, Braga C, Klein-Júnior CA, Veleda BB, Erhardt MC, Coelho-de-Souza FH. Influência do tratamento de superfície na resistência de união por cisalhamento de um cerômero indireto. Rev Fac Odontol Porto Alegre 2012;53:17-20. https://doi.org/10.22456/2177-0018.30866.

[10] Poskus LT, Meirelles RS, Schuina VB, Ferreira LM, da Silva EM, Guimarães JG. Effects of different surface treatments on bond strength of an indirect composite to

bovine dentin. Indian J Dent Res 2015;26:289-94. https://doi.org/10.4103/0970-9290.162884.

[11] Honda MI, Flório FM, Basting RT. Effectiveness of indirect composite resin silanization evaluated by microtensile bond strength test. Am J Dent 2008;21:153-8.

[12] Pinto G, Prieto L, Pierote JJ, Ferraz L, Câmara JV, Aguiar FH. Effect of different adhesive strategies on the microtensile bond strength of dentin to indirect resin-based composite. J Clin Exp Dent 2020;12:e1066-70. https://doi.org/10.4317/jced.57094.

[13] Kiefer C, Sturtz S, Bender R. Indirect Comparisons and Network Meta-Analyses. Dtsch Arztebl Int 2015;112:803-8. https://doi.org/10.3238/arztebl.2015.0803.

[14] Hutton B, Salanti G, Caldwell DM, Chaimani A, Schmid CH, Cameron C, et al. The PRISMA Extension Statement for Reporting of Systematic Reviews Incorporating Network Meta-analyses of Health Care Interventions: Checklist and Explanations. Ann Intern Med 2015;162:777-84. https://doi.org/10.7326/M14-2385.

[15] Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. Syst Rev 2016;5:210. https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4.

[16] Delgado AH, Sauro S, Lima AF, Loguercio AD, Della Bona A, Mazzoni A, et al. RoBDEMAT: a risk of bias tool and guideline to support reporting of pre-clinical dental materials research and assessment of systematic reviews. J Dent 2022;127:104350. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104350.

[17] Owen RK, Bradbury N, Xin Y, Cooper N, Sutton A. MetaInsight: an interactive web-based tool for analyzing, interrogating, and visualizing network meta-analyses using R-shiny and netmeta. Res Synth Methods 2019;10:569-81. https://doi.org/10.1002/jrsm.1373.

[18] D. van Ravenzwaaij, P. Cassey, S.D. Brown, A simple introduction to Markov Chain Monte-Carlo sampling, Psychon. Bull. Rev. 25 (2018) 143–154, https://doi.org/10.3758/s13423-016-1015-8.

[19] Dias S, Welton NJ, Caldwell DM, Ades AE. Checking consistency in mixed treatment comparison meta-analysis. Stat Med 2010;29:932-44. https://doi.org/10.1002/sim.3767.

[20] Salanti G, Ades AE, Ioannidis JP. Graphical methods and numerical summaries for presenting results from multiple-treatment meta-analysis: an overview and tutorial. J Clin Epidemiol 2011;64:163-71. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.03.016.

[21] Nevill CR, Cooper NJ, Sutton AJ. A multifaceted graphical display, including treatment ranking, was developed to aid interpretation of network meta-analysis. J Clin Epidemiol 2023;157:83-91. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2023.02.016.

[22] Tao L, Xu X, Cui ZX. The effect of air abrasion on enamel composite resin adhesive strength. Shanghai Kou Qiang Yi Xue 2001;10:231-2.

[23] Cournault B, Hattenberger G, Roman T, Jmal H, Kharouf N, Etienne O. Influence of biomaterial sandblasting and dentin adhesive strategies on the shear bond strength of CAD/CAM composite resins. Dent Mater 2025;41:1091-8. https://doi.org/10.1016/j.dental.2025.06.021.

[24] D'Arcangelo C, Vanini L. Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations. J Adhes Dent 2007;9:319-26.

[25] Martins JLS. Influência do tratamento de superfície de um sistema de compósito restaurador indireto sobre a resistência de união ao cisalhamento [thesis]. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2002.

[26] Prochnow EP, Amaral M, Bergoli CD, Silva TB, Saavedra G, Valandro LF. Microtensile Bond Strength Between Indirect Composite Resin Inlays and Dentin: Effect of Cementation Strategy and Mechanical Aging. J Adhes Dent 2014;16:357-63. https://doi.org/10.3290/j.jad.a31801.

[27] Ritter AV, Sulaiman TA, Rodgers BM, Baratto Filho F, Cunha L, Castiglia Gonzaga C, et al. Effect of surface treatment and cement type on dentin bonding of processed resin composite. Am J Dent 2019;32:271-5.

[28] Swift EJ Jr, Brodeur C, Cvitko E, Pires JA. Treatment of composite surfaces for indirect bonding. Dent Mater 1992;8:193-6. https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90082-n.

[29] Batitucci MHG. Influência do tratamento da superfície de compósitos para técnica indireta na resistência de união ao esmalte dentário humano por ensaio de cisalhamento [thesis]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2001.

[30] Pagani C. Resistência de união dentina/Cimentos resinosos/Materiais indiretos e tratamento de superfície. Rev Assoc Paul Cir Dent 2004;58:189-94.

[31] Fuentes MV, Ceballos L, González-López S. Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. Clin Oral Investig 2013;17:717-24. https://doi.org/10.1007/s00784-012-0752-y.

[32] Fuentes MV, Escribano N, Baracco B, Romero M, Ceballos L. Effect of indirect composite treatment microtensile bond strength of self-adhesive resin cements. J Clin Exp Dent 2016;8:e14-21. https://doi.org/10.4317/jced.52754.

[33] Papadopoulos K, Pahinis K, Saltidou K, Dionysopoulos D, Tsitrou E. Evaluation of the Surface Characteristics of Dental CAD/CAM Materials after Different Surface Treatments. Materials (Basel) 2020;13:981. https://doi.org/10.3390/ma13040981.

[34] Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. Dent Mater 2012;28:467-77. https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009.

[35] Mendes LT, Loomans BAC, Opdam NJM, Silva CLD, Casagrande L, Lenzi TL. Silane Coupling Agents are Beneficial for Resin Composite Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. J Adhes Dent 2020;22:443-53. https://doi.org/10.3290/j.jad.a45175.

[36] Torres SM, Borges GA, Spohr AM, Cury AA, Yadav S, Platt JA. The effect of surface treatments on the micro-shear bond strength of a resin luting agent and four all-ceramic systems. Oper Dent 2009;34:399-407. https://doi.org/10.2341/08-87.

[37] Loomans BA, Cardoso MV, Opdam NJ, Roeters FJ, De Munck J, Huysmans MC, et al. Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. J Dent 2011;39:499-505. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.04.007.

[38] Gupta, S., Parolia, A., Jain, A., Kundabala, M., Mohan, M., & de Moraes Porto, I. C. (2015). A comparative effect of various surface chemical treatments on the resin composite-composite repair bond strength. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.*, *33*(3), 245–249. https://doi.org/10.4103/0970-4388.160402

[39] Papacchini F, Monticelli F, Radovic I, Chieffi N, Goracci C, Tay FR, et al. The application of hydrogen peroxide in composite repair. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2007;82:298-304. https://doi.org/10.1002/jbm.b.30733.

[40] Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. Dent Mater 2018;34:13-28. https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.09.002.

[41] de Lima E, Santos R, Durão M, Nascimento A, Braz R. Universal cements: dual activated and chemically activated. Acta Biomater Odontol Scand 2016;2:125-9. https://doi.org/10.1080/23337931.2016.1221314.

[42] Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. Dent Mater 2010;26:e38-49. https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.11.150.

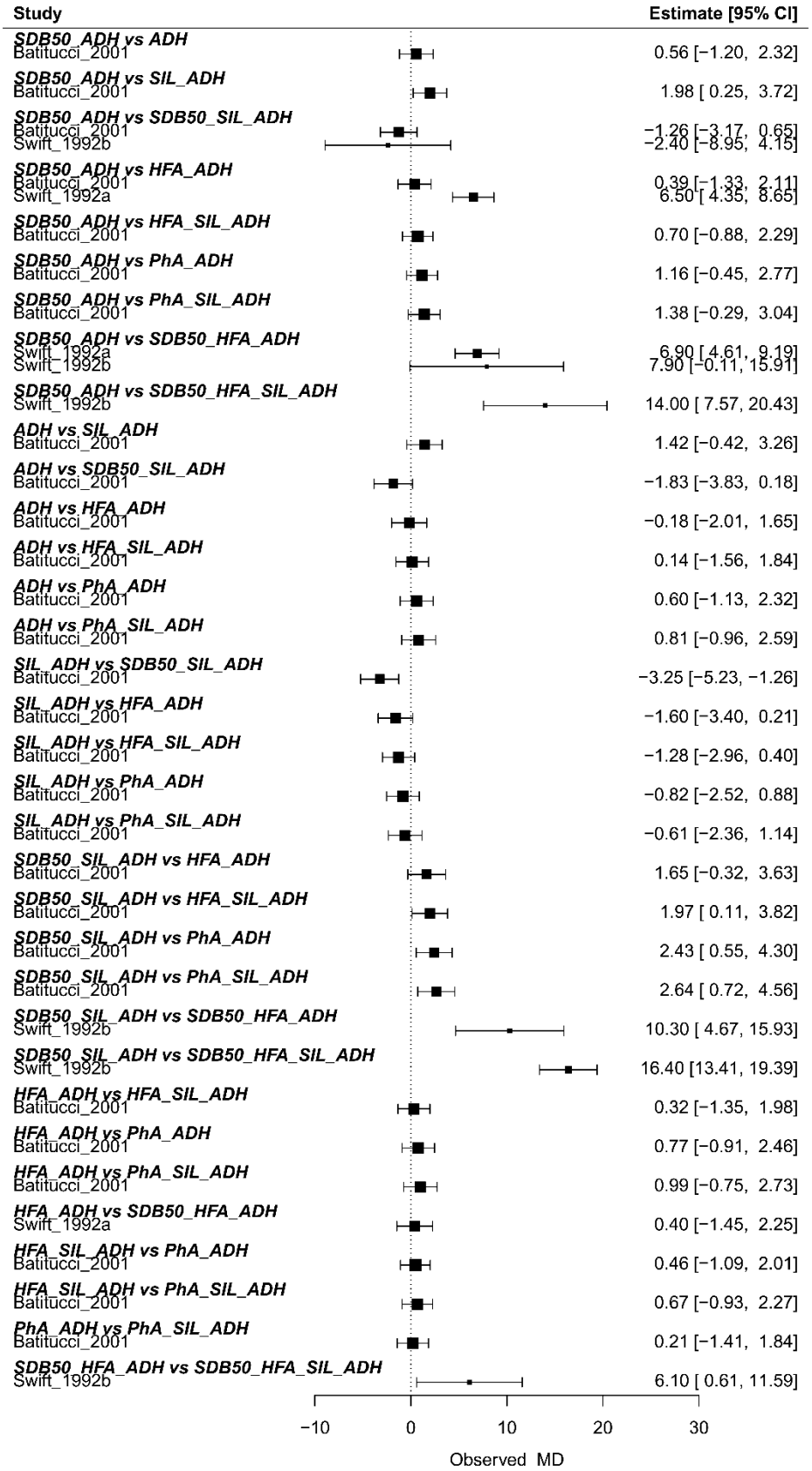
Material Suplementar S1

Referência excluída (origem nas bases de dados)	**Motivo para a exclusão**
Carrieri et al., 2007	Tratamento superficial do dente
Carvalho et al., 2015	Tratamento superficial do dente
Castro et al., 2006	Tratamento superficial do dente
Chrisostomo et al., 2020	Tratamento superficial do dente
Cura et al., 2016	Não envolveu substrato dentário
Duma et al., 2022	Não envolveu substrato dentário
Fernandes et al., 2015	Não envolveu simulação de restauração indireta
Higashi et al., 2016	Não envolveu substrato dentário
Kawaguchi et al., 2016	Não envolveu substrato dentário
Kim et al., 1995	Substrato dentário atípico
Mazzitelli et al., 2010	Tratamento superficial do dente
Moda et al., 2018	Substrato dentário atípico
Mohammad et al., 2019	Não envolveu simulação de restauração indireta
Moritz et al., 1998	Tratamento superficial do dente
Niakido et al., 1996	Tratamento superficial do dente
Nogawa et al., 2015	Tratamento superficial do dente
Oilo et al., 1978	Tratamento superficial do dente
Ozdogan et al., 2021	Tratamento superficial do dente
Pavan et al., 2010	Não envolveu simulação de restauração indireta
Reis et al., 2020	Tratamento superficial do dente
Saker et al., 2019	Substrato dentário atípico
Sakr et al., 2021	Tratamento superficial do dente
Santos et al., 2011	Tratamento superficial do dente
Shortall et al., 1996	Não envolveu substrato dentário
Soares et al., 2012	Tratamento superficial do dente
Soeno et al., 2008	Tratamento superficial do dente

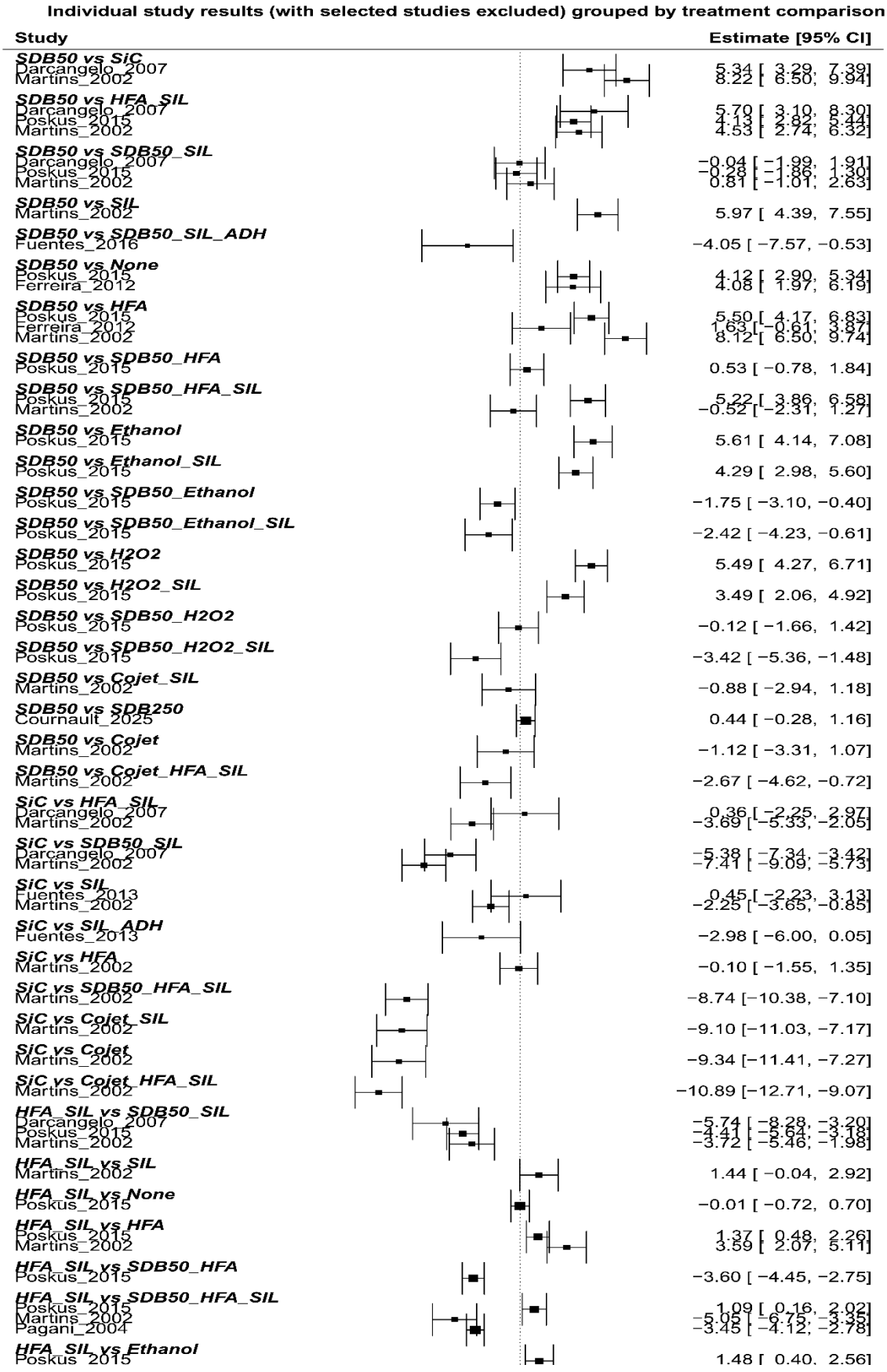
Referência excluída (origem na busca manual)	**Motivo para a exclusão**
Michida et al., 2007	Não envolveu simulação de restauração indireta
Silva et al., 2016	Não envolveu substrato dentário
Valandro et al., 2007	Não envolveu substrato dentário

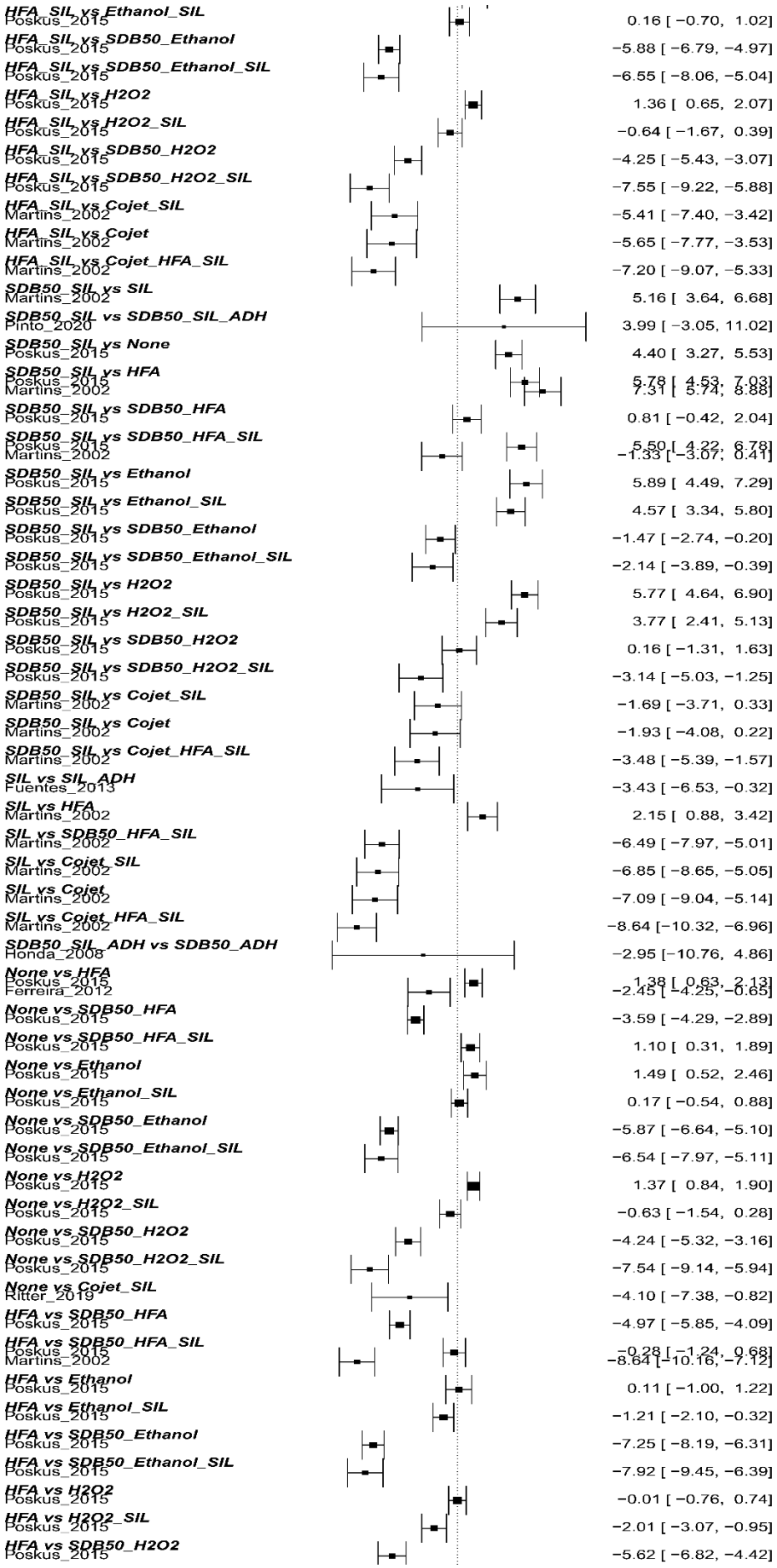
Material Suplementar S2

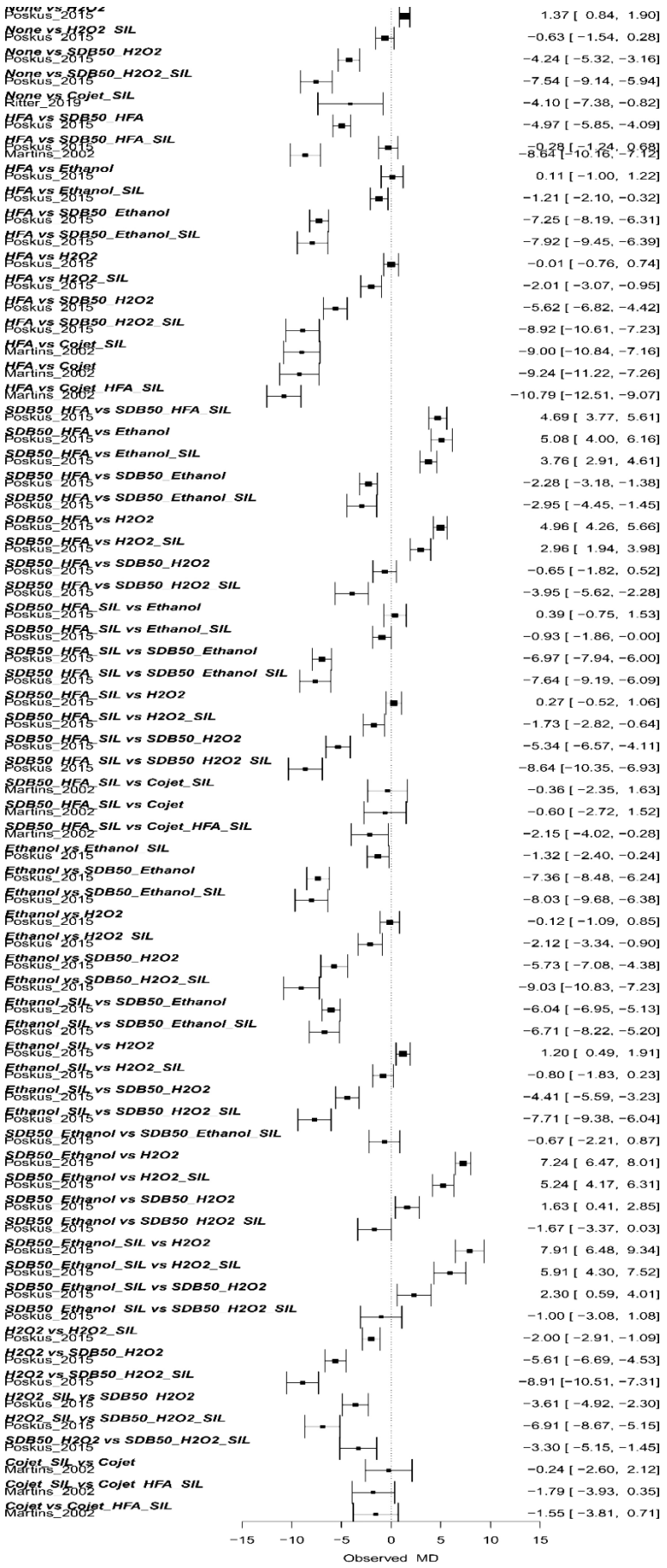
Forest plot das 34 comparações pareadas com dados diretos aplicadas na meta-análise referente ao substrato esmalte.



Forest plot das 147 comparações pareadas com dados diretos aplicadas na meta-análise referente ao substrato dentina.




HFA_SIL vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
0.16 [−0.70, 1.02]
HFA_SIL vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−5.88 [−6.79, −4.97]
HFA_SIL vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−6.55 [−8.06, −5.04]
HFA_SIL vs H2O2
Poskus_2015
1.36 [0.65, 2.07]
HFA_SIL vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−0.64 [−1.67, 0.39]
HFA_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−4.25 [−5.43, −3.07]
HFA_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−7.55 [−9.22, −5.88]
HFA_SIL vs Cojet_SIL
Martins_2002
−5.41 [−7.40, −3.42]
HFA_SIL vs Cojet
Martins_2002
−5.65 [−7.77, −3.53]
HFA_SIL vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−7.20 [−9.07, −5.33]
SDB50_SIL vs SIL
Martins_2002
5.16 [3.64, 6.68]
SDB50_SIL vs SDB50_SIL_ADH
Pinto_2020
3.99 [−3.05, 11.02]
SDB50_SIL vs None
Poskus_2015
4.40 [3.27, 5.53]
SDB50_SIL vs HFA
Poskus_2015
5.78 [4.53, 7.03]
Martins_2002
7.31 [5.74, 8.88]
SDB50_SIL vs SDB50_HFA
Poskus_2015
0.81 [−0.42, 2.04]
SDB50_SIL vs SDB50_HFA_SIL
Poskus_2015
5.50 [4.22, 6.78]
Martins_2002
−1.33 [−3.07, 0.41]
SDB50_SIL vs Ethanol
Poskus_2015
5.89 [4.49, 7.29]
SDB50_SIL vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
4.57 [3.34, 5.80]
SDB50_SIL vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−1.47 [−2.74, −0.20]
SDB50_SIL vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−2.14 [−3.89, −0.39]
SDB50_SIL vs H2O2
Poskus_2015
5.77 [4.64, 6.90]
SDB50_SIL vs H2O2_SIL
Poskus_2015
3.77 [2.41, 5.13]
SDB50_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
0.16 [−1.31, 1.63]
SDB50_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−3.14 [−5.03, −1.25]
SDB50_SIL vs Cojet_SIL
Martins_2002
−1.69 [−3.71, 0.33]
SDB50_SIL vs Cojet
Martins_2002
−1.93 [−4.08, 0.22]
SDB50_SIL vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−3.48 [−5.39, −1.57]
SIL vs SIL_ADH
Fuentes_2013
−3.43 [−6.53, −0.32]
SIL vs HFA
Martins_2002
2.15 [0.88, 3.42]
SIL vs SDB50_HFA_SIL
Martins_2002
−6.49 [−7.97, −5.01]
SIL vs Cojet_SIL
Martins_2002
−6.85 [−8.65, −5.05]
SIL vs Cojet
Martins_2002
−7.09 [−9.04, −5.14]
SIL vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−8.64 [−10.32, −6.96]
SDB50_SIL_ADH vs SDB50_ADH
Honda_2008
−2.95 [−10.76, 4.86]
None vs HFA
Poskus_2015
1.38 [0.63, 2.13]
Ferreira_2012
−2.45 [−4.25, −0.65]
None vs SDB50_HFA
Poskus_2015
−3.59 [−4.29, −2.89]
None vs SDB50_HFA_SIL
Poskus_2015
1.10 [0.31, 1.89]
None vs Ethanol
Poskus_2015
1.49 [0.52, 2.46]
None vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
0.17 [−0.54, 0.88]
None vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−5.87 [−6.64, −5.10]
None vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−6.54 [−7.97, −5.11]
None vs H2O2
Poskus_2015
1.37 [0.84, 1.90]
None vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−0.63 [−1.54, 0.28]
None vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−4.24 [−5.32, −3.16]
None vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−7.54 [−9.14, −5.94]
None vs Cojet_SIL
Ritter_2019
−4.10 [−7.38, −0.82]
HFA vs SDB50_HFA
Poskus_2015
−4.97 [−5.85, −4.09]
HFA vs SDB50_HFA_SIL
Poskus_2015
−0.28 [−1.24, 0.68]
Martins_2002
−8.64 [−10.16, −7.12]
HFA vs Ethanol
Poskus_2015
0.11 [−1.00, 1.22]
HFA vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
−1.21 [−2.10, −0.32]
HFA vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−7.25 [−8.19, −6.31]
HFA vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−7.92 [−9.45, −6.39]
HFA vs H2O2
Poskus_2015
−0.01 [−0.76, 0.74]
HFA vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−2.01 [−3.07, −0.95]
HFA vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−5.62 [−6.82, −4.42]


None vs H2O2
Poskus_2015
1.37 [0.84, 1.90]
None vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−0.63 [−1.54, 0.28]
None vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−4.24 [−5.32, −3.16]
None vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−7.54 [−9.14, −5.94]
None vs Cojet_SIL
Ritter_2019
−4.10 [−7.38, −0.82]
HFA vs SDB50_HFA
Poskus_2015
−4.97 [−5.85, −4.09]
HFA vs SDB50_HFA_SIL
Poskus_2015
−0.28 [−1.24, 0.68]
Martins_2002
−8.64 [−10.16, −7.12]
HFA vs Ethanol
Poskus_2015
0.11 [−1.00, 1.22]
HFA vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
−1.21 [−2.10, −0.32]
HFA vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−7.25 [−8.19, −6.31]
HFA vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−7.92 [−9.45, −6.39]
HFA vs H2O2
Poskus_2015
−0.01 [−0.76, 0.74]
HFA vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−2.01 [−3.07, −0.95]
HFA vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−5.62 [−6.82, −4.42]
HFA vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−8.92 [−10.61, −7.23]
HFA vs Cojet_SIL
Martins_2002
−9.00 [−10.84, −7.16]
HFA vs Cojet
Martins_2002
−9.24 [−11.22, −7.26]
HFA vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−10.79 [−12.51, −9.07]
SDB50_HFA vs SDB50_HFA_SIL
Poskus_2015
4.69 [3.77, 5.61]
SDB50_HFA vs Ethanol
Poskus_2015
5.08 [4.00, 6.16]
SDB50_HFA vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
3.76 [2.91, 4.61]
SDB50_HFA vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−2.28 [−3.18, −1.38]
SDB50_HFA vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−2.95 [−4.45, −1.45]
SDB50_HFA vs H2O2
Poskus_2015
4.96 [4.26, 5.66]
SDB50_HFA vs H2O2_SIL
Poskus_2015
2.96 [1.94, 3.98]
SDB50_HFA vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−0.65 [−1.82, 0.52]
SDB50_HFA vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−3.95 [−5.62, −2.28]
SDB50_HFA_SIL vs Ethanol
Poskus_2015
0.39 [−0.75, 1.53]
SDB50_HFA_SIL vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
−0.93 [−1.86, −0.00]
SDB50_HFA_SIL vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−6.97 [−7.94, −6.00]
SDB50_HFA_SIL vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−7.64 [−9.19, −6.09]
SDB50_HFA_SIL vs H2O2
Poskus_2015
0.27 [−0.52, 1.06]
SDB50_HFA_SIL vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−1.73 [−2.82, −0.64]
SDB50_HFA_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−5.34 [−6.57, −4.11]
SDB50_HFA_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−8.64 [−10.35, −6.93]
SDB50_HFA_SIL vs Cojet_SIL
Martins_2002
−0.36 [−2.35, 1.63]
SDB50_HFA_SIL vs Cojet
Martins_2002
−0.60 [−2.72, 1.52]
SDB50_HFA_SIL vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−2.15 [−4.02, −0.28]
Ethanol vs Ethanol_SIL
Poskus_2015
−1.32 [−2.40, −0.24]
Ethanol vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−7.36 [−8.48, −6.24]
Ethanol vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−8.03 [−9.68, −6.38]
Ethanol vs H2O2
Poskus_2015
−0.12 [−1.09, 0.85]
Ethanol vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−2.12 [−3.34, −0.90]
Ethanol vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−5.73 [−7.08, −4.38]
Ethanol vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−9.03 [−10.83, −7.23]
Ethanol_SIL vs SDB50_Ethanol
Poskus_2015
−6.04 [−6.95, −5.13]
Ethanol_SIL vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−6.71 [−8.22, −5.20]
Ethanol_SIL vs H2O2
Poskus_2015
1.20 [0.49, 1.91]
Ethanol_SIL vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−0.80 [−1.83, 0.23]
Ethanol_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−4.41 [−5.59, −3.23]
Ethanol_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−7.71 [−9.38, −6.04]
SDB50_Ethanol vs SDB50_Ethanol_SIL
Poskus_2015
−0.67 [−2.21, 0.87]
SDB50_Ethanol vs H2O2
Poskus_2015
7.24 [6.47, 8.01]
SDB50_Ethanol vs H2O2_SIL
Poskus_2015
5.24 [4.17, 6.31]
SDB50_Ethanol vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
1.63 [0.41, 2.85]
SDB50_Ethanol vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−1.67 [−3.37, 0.03]
SDB50_Ethanol_SIL vs H2O2
Poskus_2015
7.91 [6.48, 9.34]
SDB50_Ethanol_SIL vs H2O2_SIL
Poskus_2015
5.91 [4.30, 7.52]
SDB50_Ethanol_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
2.30 [0.59, 4.01]
SDB50_Ethanol_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−1.00 [−3.08, 1.08]
H2O2 vs H2O2_SIL
Poskus_2015
−2.00 [−2.91, −1.09]
H2O2 vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−5.61 [−6.69, −4.53]
H2O2 vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−8.91 [−10.51, −7.31]
H2O2_SIL vs SDB50_H2O2
Poskus_2015
−3.61 [−4.92, −2.30]
H2O2_SIL vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−6.91 [−8.67, −5.15]
SDB50_H2O2 vs SDB50_H2O2_SIL
Poskus_2015
−3.30 [−5.15, −1.45]
Cojet_SIL vs Cojet
Martins_2002
−0.24 [−2.60, 2.12]
Cojet_SIL vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−1.79 [−3.93, 0.35]
Cojet vs Cojet_HFA_SIL
Martins_2002
−1.55 [−3.81, 0.71]
−15
−10
−5
0
5
10
15
Observed MD

ARTIGO 2

Potencial adesivo de resina composta indireta ao esmalte – efeito do tratamento superficial interno da restauração

Murillo Weissheimer [a], Evandro Piva [b,c], Tatiana da Silva Ramos [c], Afnan Omar Al-Zain [d], Eliseu Aldrighi Münchow [a, e]

[a] Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Ramiro Barcelos, 2492, Porto Alegre, Brazil.
[b] Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Pelotas, Rua Gonçalves Chaves, 457, Pelotas, Brazil.
[c] Center for the Development and Control of Biomaterials, Federal University of Pelotas, Rua Gonçalves Chaves, 457, Pelotas, Brazil.
[d] Restorative Dentistry Department, Faculty of Dentistry, King Abdulaziz University, P.O. Box 80209, Jeddah 21589, Saudi Arabia
[e] Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Ramiro Barcelos, 2492, Porto Alegre, Brazil.

Autor Correspondente
Prof. Eliseu Aldrighi Münchow
Graduate Program in Dentistry
Federal University of Rio Grande do Sul
Rua Ramiro Barcelos 2492, 90035-003
Porto Alegre, RS, Brazil.
E-mail address: eliseu.munchow@ufrgs.br (E.A. Münchow).

Palavras-chave: Resistência de união ao cisalhamento, Eletrofiação, Jateamento com óxido de alumínio, Asperização, Perfilometria óptica, Molhabilidade superficial

**O artigo foi preparado conforme as normas do periódico Journal of Dentistry, o qual ainda não foi submetido para apreciação ao corpo editorial.*

Resumo

Objetivos: Avaliar in vitro a influência de três diferentes métodos de tratamento superficial (jateamento com partículas de óxido de alumínio [Al_2O_3], asperização com ponta diamantada fina e aplicação de malha de fibras eletrofiadas) na topografia, na molhabilidade e na resistência de união ao cisalhamento de uma resina composta indireta cimentada ao esmalte.

Métodos: Foram confeccionados blocos de resina composta e divididos em três grupos experimentais de acordo com o tratamento da superfície: Al_2O_3 (jateamento com partículas de 50 μm), ASP (asperização com ponta diamantada fina) e FIBRA (aplicação de malha de fibra eletrofiada silanizada). A topografia e a molhabilidade da superfície interna foram avaliadas antes e após os tratamentos. Os espécimes foram então cimentados sobre o esmalte de incisivos bovinos utilizando um cimento resinoso autoadesivo. Após 7 dias de armazenamento em água destilada, as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência de união ao cisalhamento e avaliação do modo de falha.

Resultados: Todos os tratamentos aplicados promoveram um aumento estatisticamente significativo na rugosidade superficial em comparação aos seus baselines, sendo que o grupo FIBRA gerou as superfícies mais rugosas, seguido pelo ASP e Al_2O_3. Na avaliação da molhabilidade, os grupos Al_2O_3 e ASP aumentaram significativamente o ângulo de contato, enquanto o grupo FIBRA não alterou a molhabilidade inicial. Não houve diferença estatisticamente significativa na resistência de união imediata ao cisalhamento entre os grupos testados (P=0,195). As falhas observadas foram predominantemente do tipo adesiva em todos os grupos.

Conclusões: Os diferentes tratamentos de superfície modificaram significativamente a topografia e a molhabilidade da resina composta indireta, porém essas alterações não refletiram em diferenças estatísticas na resistência de união imediata da interface resina-cimento-esmalte.

Relevância Clínica: A asperização com ponta diamantada e a aplicação de malha de fibras eletrofiadas apresentam desempenho mecânico semelhante ao jateamento com óxido de alumínio (considerado o padrão-ouro), despontando como alternativas viáveis e promissoras para o tratamento da superfície interna de restaurações indiretas.

1. Introdução

O uso de resinas compostas para a confecção de restaurações indiretas é uma prática consolidada na odontologia restauradora contemporânea, oferecendo excelente estética e propriedades biomecânicas [1]. No entanto, a longevidade clínica destas restaurações depende intrinsecamente da qualidade e da estabilidade da interface adesiva formada entre o material restaurador, o cimento resinoso e o substrato dentário.

Nesse contexto, o estabelecimento de protocolos precisos de tratamento de superfície torna-se indispensável para otimizar a união entre os materiais e garantir o sucesso do tratamento a longo prazo [2,3]. Para otimizar a interação mecânica e química entre a restauração indireta e o agente cimentante, o tratamento prévio da superfície interna da resina composta é um passo operatório crítico. O objetivo deste tratamento é promover um aumento da rugosidade superficial, criando microretenções para o imbricamento micromecânico do cimento, e elevar a energia de superfície do material, tornando-o mais hidrofílico e favorecendo uma molhabilidade adequada [4].

O jateamento com partículas de óxido de alumínio (Al_2O_3) é amplamente documentado na literatura, podendo ser considerado como o tratamento padrão-ouro [4-6]. Contudo, a sua execução exige equipamentos específicos como microjateadores, que não estão universalmente disponíveis em todos os consultórios, o que pode onerar financeiramente o tratamento, limitando a sua adoção rotineira. Diante disso, a asperização com ponta diamantada desponta como uma alternativa altamente acessível. Apesar de mais extensamente estudada como protocolo de reparo em restaurações de resina composta [7], a facilidade de execução torna-se uma alternativa viável também para restaurações indiretas.

Além disso, a utilização de malhas de fibras poliméricas obtidas por eletrofiação tem se destacado como uma área de grande interesse científico. Embora a adição dessas fibras para o reforço estrutural da matriz de resinas compostas [8] e de pinos intracanal [9] já demonstre bons resultados na melhoria das propriedades mecânicas, a sua aplicação específica como método de tratamento de superfície para restaurações indiretas permanece inexplorada. Contudo, devido à sua elevada relação área-volume e à alta energia de superfície, essas malhas possuem uma alta capacidade de gerar modificações topográficas complexas, características que

viabilizam e justificam a investigação do seu uso para otimizar interfaces adesivas [10].

Assim, o objetivo deste estudo in vitro foi avaliar a influência de três diferentes métodos de tratamento superficial (jateamento com partículas de Al_2O_3, asperização com ponta diamantada e aplicação de malha de fibras eletrofiadas) na topografia, na molhabilidade e na resistência de união ao cisalhamento de uma resina composta indireta cimentada ao esmalte. As hipóteses nulas testadas foram que os diferentes tratamentos de superfície não alterariam significativamente: 1) os parâmetros topográficos e a molhabilidade do substrato resinoso; e 2) a resistência de união imediata ao esmalte.

2. Materiais e métodos

2.1 Cálculo amostral e desenho experimental

O cálculo do tamanho amostral foi realizado utilizando uma ferramenta estatística disponível no site http://estatistica.bauru.usp.br/calculoamostral/index.php, baseando-se em dados de um estudo prévio sobre a resistência de união de resinas compostas indiretas submetidas a diferentes métodos de tratamento de superfície [11]. O cálculo incluiu três grupos independentes, diferença média mínima detectável de 7,76 MPa, desvio-padrão de 4,86 MPa, poder do teste de 80% e nível de significância de 5%. O cálculo indicou um mínimo de nove espécimes por grupo. Entretanto, para aumentar a robustez da análise, foram utilizados 15 espécimes para cada grupo experimental.

Foram considerados três grupos com base no tratamento de superfície da restauração indireta: Al_2O_3 – jateamento com partículas de óxido de alumínio de 50 µm de diâmetro (padrão ouro); ASP – asperização com ponta diamantada de granulação fina; e FIBRA – deposição de uma malha de fibra eletrofiada umedecida com silano. As variáveis resposta analisadas foram: i) resistência de união imediata ao esmalte; ii) característica topográfica antes e após o tratamento superficial; iii) molhabilidade da superfície antes e após aplicação dos tratamentos; e iv) características morfológicas avaliadas via microscopia eletrônica de varredura.

2.2 Preparo das amostras dentárias

Incisivos bovinos hígidos foram selecionados, limpos e armazenados em solução de cloramina-T a 0,5% (Merck, São Paulo, Brasil) por 7 dias para desinfecção.

Posteriormente, os dentes foram mantidos em água destilada a 4°C até o momento de uso, não excedendo o período de três meses. A porção radicular foi removida utilizando ponta diamantada #2135 (KG Sorensen, Cotia, Brasil) sob refrigeração constante. As coroas remanescentes foram incluídas em resina acrílica autopolimerizável, utilizando cilindros de PVC como matrizes, com a face vestibular voltada para o exterior. Após a polimerização, a face vestibular dos dentes foi desgastada para obtenção de uma superfície plana de esmalte, utilizando recortador de gesso. A superfície foi inspecionada visualmente para assegurar a ausência de exposição dentinária. O polimento padronizado foi realizado com lixas de carbeto de silício de granulação #600 em uma politriz horizontal (Modelo APL-04, Arotec Indústria e Comércio, Cotia, SP, Brasil), sob refrigeração a água. Os dentes foram numerados e distribuídos aleatoriamente nos grupos experimentais utilizando um software gerador de números aleatórios (https://www.sorteiogo.com/pt).

2.3 Obtenção da malha de fibras eletrofiadas

A malha de fibras poliméricas foi obtida pelo método de eletrofiação, conforme protocolo descrito por Zafar et al. [12]. A solução polimérica foi preparada pela dissolução de 20% em peso de poli(ε)caprolactona (PCL; Massa molecular = 80,000 g/mol; Sigma-Aldrich) em uma mistura binária de solventes: 90%/10% em volume de ácido acético e ácido fórmico [13]. A solução foi mantida sob agitação magnética por 24 h à temperatura ambiente. Posteriormente, a solução foi transferida para uma seringa plástica de 5 mL (Luer Slip; Descarpack) acoplada a uma agulha metálica de calibre 27G (Becton Dickinson). O sistema foi posicionado em uma bomba de infusão, estabelecendo-se uma vazão constante de 1 mL/h. Uma tensão de 15 kV foi aplicada entre a ponta da agulha e o coletor. As fibras foram depositadas sobre um coletor tecidual do tipo TNT, posicionado a uma distância de trabalho de 15 cm. As malhas obtidas foram mantidas sob vácuo por 48 h para remoção de solventes residuais.

A caracterização morfológica foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV; Zeiss MA 10, Zeiss, Alemanha). Espécimes de 5 × 5 mm² foram fixados em suportes de alumínio (*stubs*) e metalizados com ouro (Sputter Coater SCD 050, Bal-Tec). As micrografias foram obtidas com magnificação de 5.000×. O diâmetro médio das fibras foi mensurado utilizando o software ImageJ (National Institute of Health, Bethesda, MD, EUA), contabilizando-se 50 fibras aleatórias por imagem, em um total de três imagens por grupo.

2.4 Confecção das restaurações de resina composta e alocação nos grupos

Para a confecção dos 45 blocos de resina composta, uma matriz de silicone de adição (Scan Putty; Yller Biomaterials, Pelotas, Brasil) com dimensões internas de aproximadamente 4 mm de largura × 4 mm de comprimento × 3 mm de espessura foi utilizada. A resina composta laboratorial (SR Nexco Dentina A3,5; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) foi inserida na matriz utilizando a técnica incremental, em duas camadas de aproximadamente 1,5 mm cada. A fotoativação foi realizada com um diodo emissor de luz (Emitter Now Black; Schuster, Santa Maria, Brasil), com irradiância de 1250 mW/cm². O protocolo de fotoativação consistiu em 20 s para o primeiro incremento e 40 s para o último incremento, mantendo-se a ponta ativa do aparelho o mais próximo possível da superfície da resina, sem tocá-la. Após a polimerização, os blocos foram removidos da matriz. A face superior (oposta à superfície de cimentação/tratamento) foi imediatamente identificada com caneta de tinta permanente para orientação.

2.5 Tratamento superficial das restaurações de resina composta

Os espécimes foram numerados e alocados aleatoriamente em três grupos experimentais, de acordo com o protocolo de tratamento da superfície de cimentação:

- Al_2O_3: a superfície foi jateada por um único operador, usando partículas de óxido de alumínio de 50 μm de diâmetro. Para isso, um microjato (modelo Standard; Bio-Art) foi utilizado, cujo protocolo teve duração de 10 s a uma distância padronizada de 1 cm e pressão de 2 bar. Em seguida, os espécimes foram lavados abundantemente com água e secos com jato de ar comprimido por 10 s.
- ASP: a superfície foi asperizada por um único operador com ponta diamantada #1093F (Prima Dental) em alta rotação sob refrigeração, sendo aplicada por aproximadamente 10 s, realizando-se movimentos unidirecionais padronizados. Após, realizou-se a lavagem e secagem por 10 s.
- FIBRA: a superfície recebeu a aplicação de uma camada da malha de fibras eletrofiadas, a qual foi cortada nas dimensões correspondentes à base da amostra de resina composta. Antes da sua aplicação, a superfície da amostra foi silanizada com aplicação ativa do agente de união (Silano Angelus), seguido do posicionamento da fibra e respectivo umedecimento com o silano, promovendo assim a fixação da fibra.

2.6 Análise de microscopia eletrônica de varredura

A superfície obtida com cada método de tratamento foi avaliada em MEV (EVO MA10; Zeiss). Uma amostra representativa de cada grupo foi testada, além de uma superfície controle que não foi submetida a qualquer tratamento superficial. Para isso, cada amostra foi coberta com liga de Au, e as imagens foram obtidas em magnificação de 50×, 1500× e 3000×, para então serem analisadas de forma descritiva.

2.7 Protocolo de cimentação das restaurações

A superfície de esmalte foi condicionada com ácido fosfórico 37% (Condac 37; FGM, Joinville, Brasil) por 30 s, seguida de lavagem abundante com jato de água por 30 s e secagem com jato de ar por 10 s. Para a cimentação, foi utilizado um cimento resinoso autoadesivo (Set PP, cor A2; SDI, Austrália). As pastas base e catalisadora foram dispensadas em proporção 1:1 sobre uma placa de vidro e misturadas manualmente com uma espátula nº 70 até a obtenção de uma mistura homogênea. Uma fina camada de cimento foi aplicada na superfície tratada dos blocos de resina indireta, os quais foram posicionados na região central do esmalte. Foi aplicada pressão de aproximadamente 100 g com auxílio de uma placa de vidro posicionada acima da restauração por 4 min para permitir a fase química de polimerização e estabilização do cimento. A fotoativação foi realizada por 20 s na face superior e por 20 s em cada uma das faces laterais da interface de união. O excesso de cimento ao redor das amostras cimentadas foi cuidadosamente removido com uma ponta diamantada #2200 (KG Sorensen). Após a cimentação, os conjuntos dente-restauração foram armazenados em água destilada a 37°C por 7 dias antes da realização dos testes de resistência de união.

2.8 Análise topográfica (Perfilometria Óptica)

A superfície interna (área de cimentação) de cada amostra foi avaliada antes e após os tratamentos superficiais. Para isso, a superfície foi avaliada com um perfilômetro óptico (modelo GTKM; ContourGTK, Bruker, Atibaia, Brasil), sendo realizadas duas medições por amostra, obtendo-se os valores conforme os parâmetros Sa (média aritmética da rugosidade superficial), Sq (valor quadrático médio da área definida, equivalente ao desvio padrão das alturas) e Sz (soma entre o pico mais alto e o vale mais profundo na área definida). Cada parâmetro foi calculado usando-se o software Vision64 (Bruker Optical Profilometer). Imagens

bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) também foram coletadas e analisadas de forma descritiva.

2.9 Análise do ângulo de contato (Goniometria)

O ângulo de contato (θ, em °) formado entre a água e a superfície interna de cada amostra de resina composta foi avaliado para mensurar o nível de hidrofilia/hidrofobia das restaurações, antes e após a realização dos diferentes tratamentos superficiais. Para isso, uma gota de água (5 µL) foi dispensada na porção central da superfície de cimentação de cada espécime com o auxílio de uma micropipeta, seguido de avaliação usando um goniômetro (modelo DAS 100S/2014; Kruss). Todas as imagens foram analisadas no software do equipamento para medir os ângulos de contato obtidos entre a gota de água e a superfície do esmalte da amostra.

O método do θ também foi utilizado para mensurar o nível de hidrofilia/hidrofobia da superfície do esmalte e do cimento resinoso utilizado no estudo. Nesse último caso, o cimento foi manipulado para obtenção de um espécime com medidas de 4 mm de largura × 4 mm de comprimento × 3 mm de espessura. O cimento foi manipulado conforme explicado na Seção 2.7, e dispensado no mesmo molde utilizado para confecção das restaurações indiretas.

2.10 Ensaio de resistência de união ao cisalhamento

As amostras restauradas foram posicionadas em um dispositivo para teste de resistência de união ao cisalhamento. Antes disso, cada espécime foi mensurado com um paquímetro digital próximo à área de secção transversal. Cada restauração foi submetida ao ensaio de cisalhamento em máquina de ensaios universal (DL200; EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil), em que a carga foi aplicada por meio de um cinzel posicionado paralelamente à interface adesiva com velocidade constante de 0,5 mm/min. Os dados foram coletados em força máxima de fratura (em Newtons), os quais foram divididos pela área de secção transversal de cada amostra, resultando na resistência de união ao cisalhamento (em MPa).

2.11 Avaliação do modo de falha das restaurações

Ao final do ensaio de resistência de união, as amostras fraturadas foram analisadas com uso de lupa de aumento (3×) a fim de se analisar e classificar as

falhas em: I – predominantemente adesiva envolvendo a interface entre o cimento resinoso e o esmalte; II – predominantemente adesiva envolvendo a interface entre o cimento resinoso e a restauração de resina; III – mista, quando a falha demonstrar a presença de mais do que um padrão (ex: envolver a interface adesiva e apresentar pelo menos 25% de fratura interna [coesiva] na resina composta; e IV – quando a fratura envolver parte da porção do esmalte dental (falha coesiva em esmalte).

Amostras representativas de cada grupo foram separadas para avaliação em MEV. Para isso, a amostra fraturada foi coberta com liga de Au e posteriormente avaliada no microscópio Zeiss modelo MA 10. As imagens foram obtidas em magnificações de 50× e 250×, tentando-se obter um ou mais modos de falha em cada grupo.

2.12 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o programa SigmaStat versão 3.5 (Systat Inc.). Os dados de resistência de união foram paramétricos, e por isso foram analisados com Análise de Variância (ANOVA) uma via. Os dados de perfilometria e goniometria não foram paramétricos, e por isso foram analisados com o teste de Kruskal-Wallis (ANOVA on Ranks) duas vias para medidas repetidas, seguido pelo teste *post hoc* de Student-Newman-Keuls. Os dados de resistência de união ao cisalhamento foram correlacionados aos dados de perfilometria e goniometria (pós-tratamento superficial das amostras) usando o teste de Correlação de Pearson. Para todas as análises, o nível de significância foi definido em α=5%.

3 Resultados

3.1 Morfologia da malha de fibras eletrofiadas

A **Figura 1** apresenta a morfologia das fibras eletrofiadas, as quais demonstraram uma distribuição de diâmetros Gaussiana, com média de 308,8 ± 169,9 nm. As fibras apresentaram uma deposição aleatória quanto à orientação, bem como a presença de alguns *beads*.

3.2 Morfologia das superfícies tratadas (MEV)

A **Figura 2** apresenta as micrografias das superfícies obtidas com os diferentes tratamentos superficiais. Enquanto as superfícies não tratadas demonstraram um

padrão aparentemente liso e livre de irregularidades superficiais (**Figura 2A**), as superfícies tratadas apresentaram diferentes morfologias.

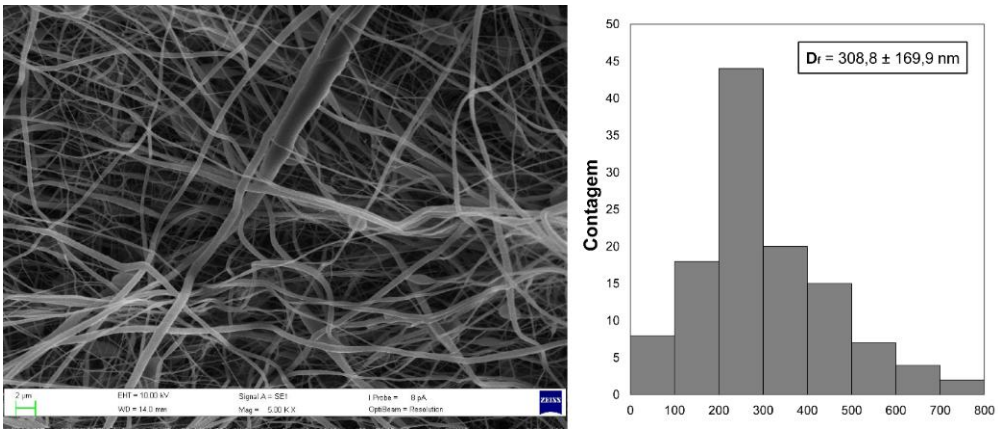


Figura 1. Micrografia da morfologia superficial da malha de fibras eletrofiadas e distribuição do diâmetro das fibras.

O grupo Al_2O_3 apresentou uma superfície rugosa típica do jateamento (**Figura 2B**), observada na totalidade da amostra. Quanto ao grupo ASP, a superfície apresentou as ranhuras típicas obtidas com a aplicação de uma ponta diamantada (**Figura 2C**), cuja rugosidade foi visualizada no mesmo sentido de aplicação, caracterizada pela presença de áreas em relevo contínuas. Por sua vez, o grupo FIBRA apresentou uma superfície texturizada com a típica porosidade fibrilar (**Figura 2D**), sendo possível observar a compactação da malha de fibras eletrofiadas à superfície da resina composta.

3.3 Parâmetros topográficos

A **Figura 3** ilustra os valores de rugosidade superficial (Sa, Sq e Sz) dos grupos, antes e após a realização dos tratamentos de superfície. Na condição inicial, não foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos para nenhum dos parâmetros avaliados (Sa: $P \geq 0,943$; Sq: $P \geq 0,970$; Sz: $P \geq 0,824$). Todos os tratamentos aplicados promoveram um aumento estatisticamente significativo na rugosidade quando comparados aos seus respectivos baselines (Sa: $P \leq 0,001$; Sq: $P \leq 0,001$; Sz: $P \leq 0,005$). Na análise intergrupos após as intervenções, todos os grupos diferiram estatisticamente entre si para os três parâmetros topográficos (Sa: $P \leq 0,016$; Sq: $P \leq 0,004$; Sz: $P \leq 0,001$). O grupo FIBRA resultou nos maiores valores de rugosidade, seguido pelo grupo ASP, enquanto o grupo Al_2O_3 apresentou os menores incrementos.

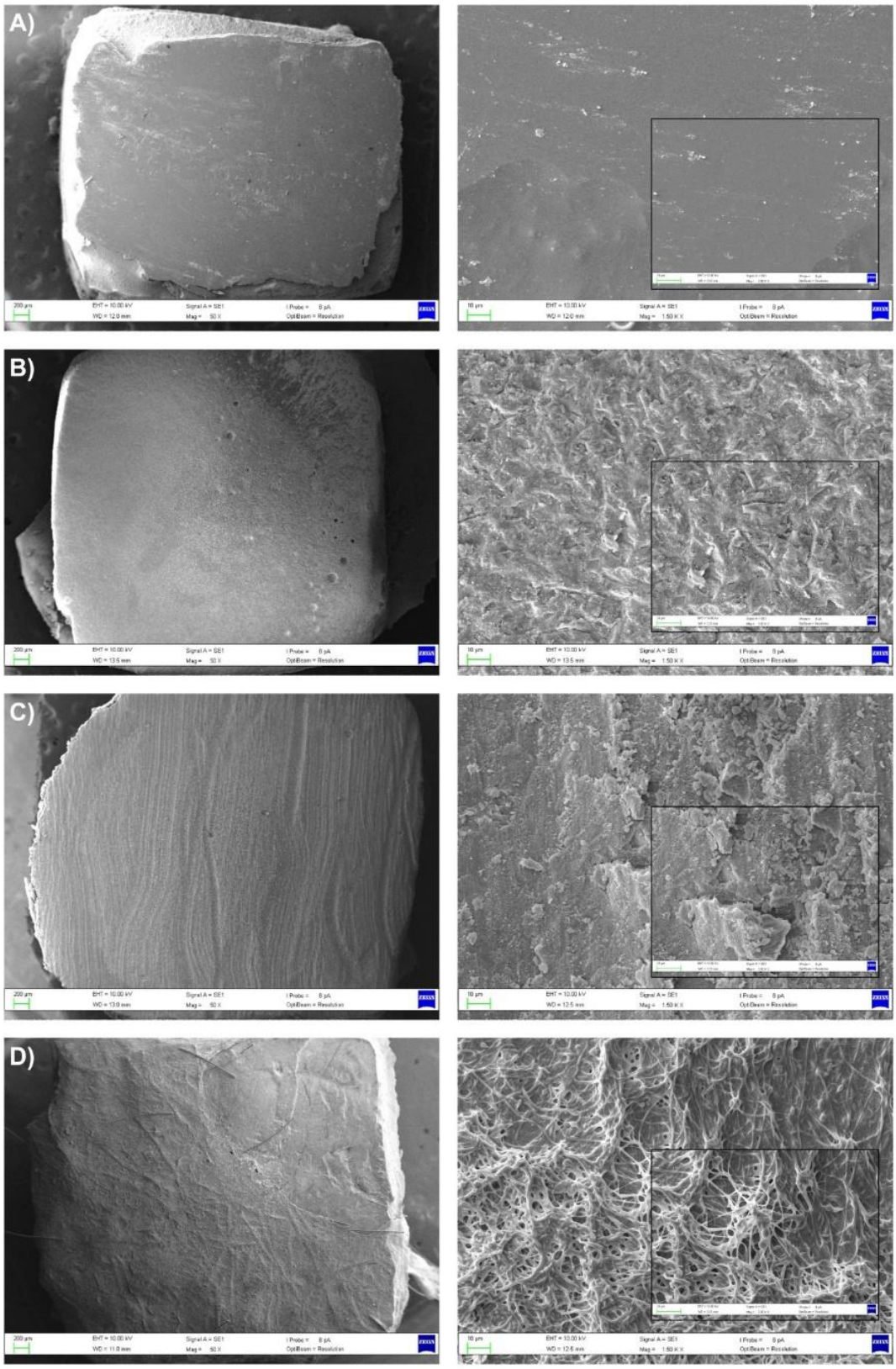


Figura 2. Micrografias das superfícies testadas no estudo conforme o tipo de tratamento superficial interno: Controle sem tratamento superficial (A), Al_2O_3 (B), ASP (C) e FIBRA (D). As imagens dispostas à esquerda possuem magnificação de 50×. As imagens dispostas à direita representam imagens em maior magnificação (1500× e 3000×).

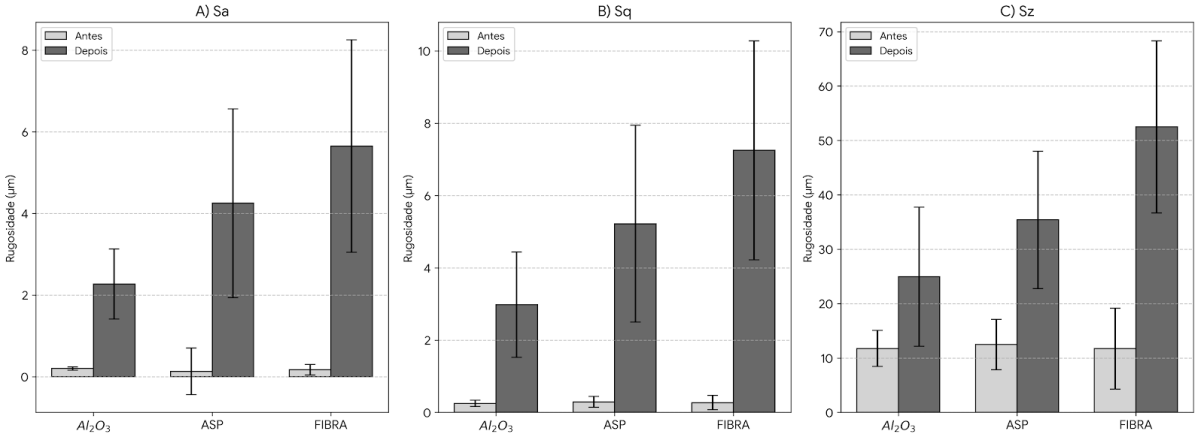


Figura 3. Gráficos em barra (média e desvio padrão) demonstrando os valores de rugosidade Sa (A), Sq (B) e Sz (C) dos grupos testados no estudo, antes e após aplicação dos tratamentos superficiais.

A **Figura 4** apresenta as imagens tridimensionais obtidas por perfilometria óptica representativas de cada grupo, ilustrando as alterações morfológicas na superfície das amostras após os diferentes tratamentos propostos.

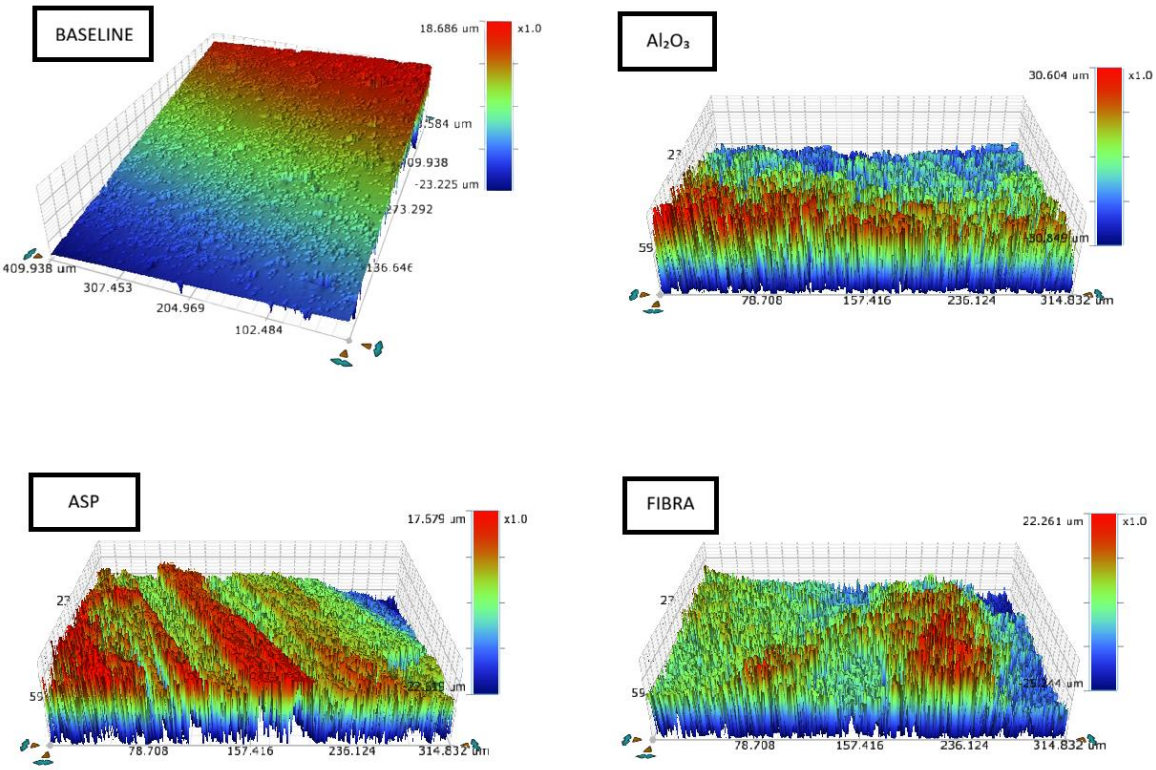


Figura 4. Imagens tridimensionais representativas da superfície obtida com cada tratamento superficial testado no estudo.

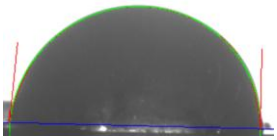
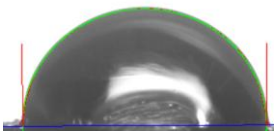
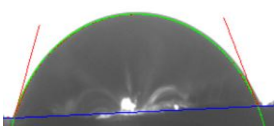
No baseline, a superfície é relativamente homogênea e plana. O grupo Al_2O_3 apresenta uma topografia mais irregular, com a formação de um relevo denso,

caracterizado por picos pontiagudos e vales profundos e irregulares, sem uma direcionalidade específica. No grupo ASP a morfologia de superfície revela um padrão de desgaste, em que se evidenciam sulcos profundos, estrias e cristas paralelas dispostas em uma orientação oblíqua ao longo da área analisada, compatível com o movimento da ponta diamantada. O grupo FIBRA demonstra uma superfície com irregularidades moderadas, com características semelhantes às do grupo Al_2O_3.

3.4 Molhabilidade superficial

A **Tabela 1** apresenta os valores de ângulo de contato da água destilada com a superfície das amostras antes e após os tratamentos de superfície. Na condição inicial, não foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos ($P \geq 0,768$). Após as intervenções, apenas o grupo FIBRA não alterou significativamente a molhabilidade dos espécimes em relação ao seu baseline ($P = 0,877$). Em contrapartida, os grupos Al_2O_3 e ASP apresentaram um aumento estatisticamente significativo nos valores aferidos ($P \leq 0,009$), tornando-se menos hidrofílico e mais hidrofóbico respectivamente. Na análise intergrupos pós-tratamento, todos os grupos diferiram estatisticamente entre si ($P \leq 0,037$). O grupo ASP resultou nos maiores ângulos de contato, seguido pelo grupo Al_2O_3 e pelo grupo FIBRA. O ângulo de contato obtido entre a água e a superfície do esmalte foi de 61,6° ± 7,0°, e entre a água e o cimento resinoso testado foi de 41,8° ± 7,8°.

Tabela 1. Resultados de ângulo de contato (média e desvio padrão) antes e após aplicação dos tratamentos superficiais.

Grupo	Baseline	Pós-tratamento	Imagem (após)
Al_2O_3	71,8 ± 2,8 $^{A, b}$	80,4 ± 6,4, $^{B, a}$	
ASP	72,8 ± 5,8 $^{A, b}$	105,0 ± 17,2 $^{A, a}$	
FIBRA	73,0 ± 4,8 $^{A, a}$	73,5 ± 9,0 $^{C, a}$	

Letras (maiúsculas nas colunas e minúsculas em linhas) distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p<0,05$).

3.5 Resistência de união ao cisalhamento e padrão de falha

Os valores médios e os desvios-padrão da resistência ao cisalhamento da união esmalte-cimento-resina, bem como a distribuição dos modos de falha, estão apresentados na **Tabela 2**. O grupo Al_2O_3 apresentou o maior valor de resistência, seguido pelos grupos ASP e FIBRA, porém, a análise por meio do teste de Análise de Variância (ANOVA) revelou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos avaliados (P = 0,195).

Tabela 2. Resultados (média e desvio-padrão/DP) da resistência de união ao cisalhamento dos grupos testados no estudo, e respectivo modo de falha.

Grupo	Média ± DP	Modo de falha			
		I	II	III	IV
Al_2O_3	16,8 ± 4,1	26,7%	53,3%	13,3%	6,7%
ASP	15,1 ± 2,9	53,3%	46,7%	–	–
FIBRA	14,5 ± 3,5	53,3%	26,7%	20%	–

DP: desvio-padrão; I – predominantemente adesiva envolvendo a interface entre o cimento resinoso e o esmalte; II – predominantemente adesiva envolvendo a interface entre o cimento resinoso e a restauração de resina; III – mista; IV – falha coesiva em esmalte.

Em relação à análise do modo de falha, os resultados estão representados na **Figura 5** (grupo Al_2O_3) e **Figura 6** (grupos ASP e FIBRA). Observou-se uma predominância de falhas adesivas (Tipos I e II) em todos os grupos, com o grupo ASP tendo exclusivamente falhas do tipo I e II (100%) e o grupo Al_2O_3 sendo o único a registrar falhas coesivas em esmalte (Tipo IV; 6,67%).

3.6 Correlação entre variáveis

A relação entre a resistência ao cisalhamento e as características superficiais dos espécimes (após os tratamentos) foi avaliada por meio do teste de correlação de Pearson. Os resultados das correlações estão dispostos na **Figura 7**. Não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a resistência ao cisalhamento e o ângulo de contato, tampouco entre a resistência ao cisalhamento e a rugosidade superficial.

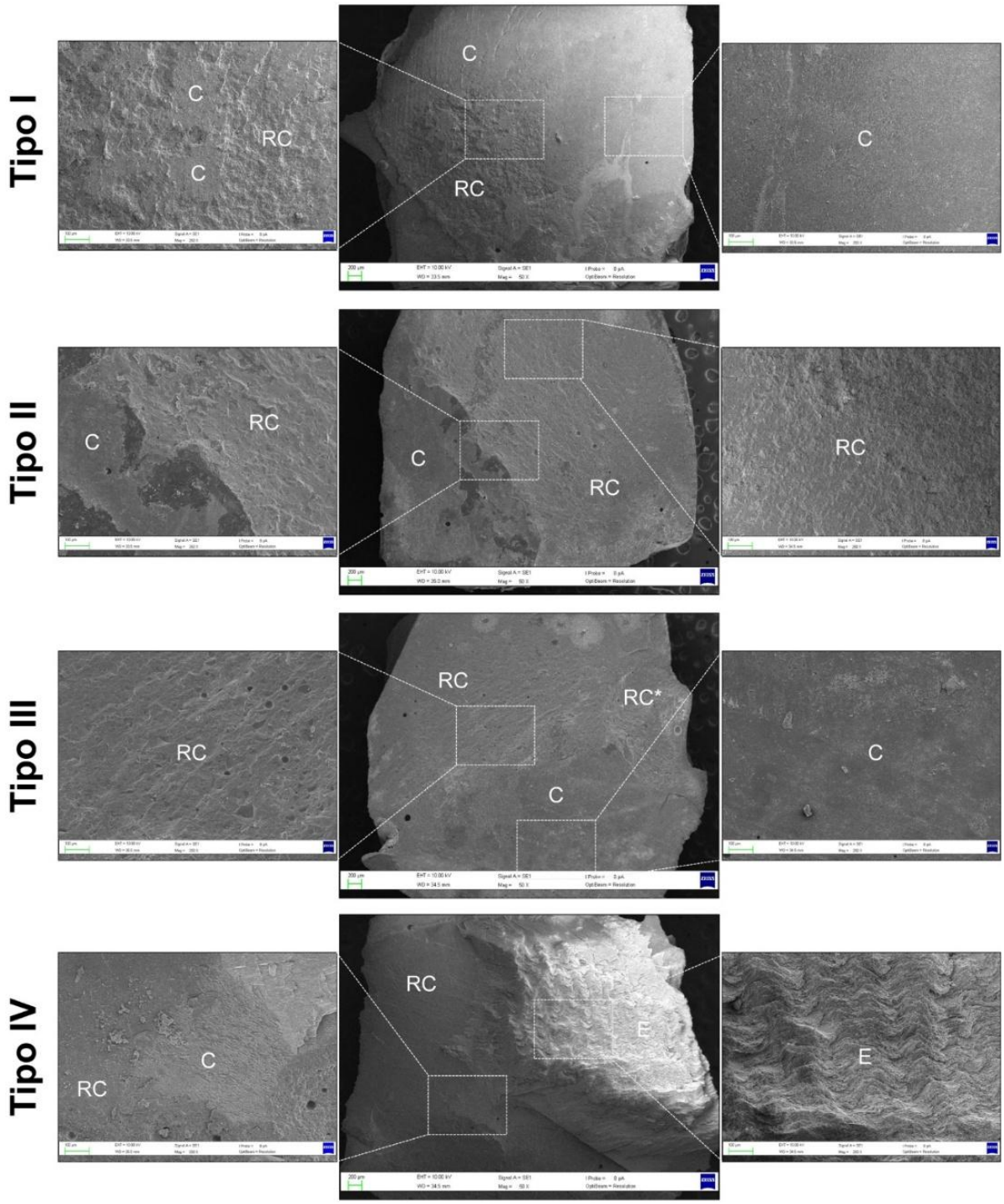


Figura 5. Micrografias dos padrões de falha das restaurações jateadas com partículas de óxido de alumínio (grupo Al_2O_3). C – cimento resinoso; E – esmalte; RC – superfície da resina composta; RC* – fratura no interior da resina composta (falha coesiva).

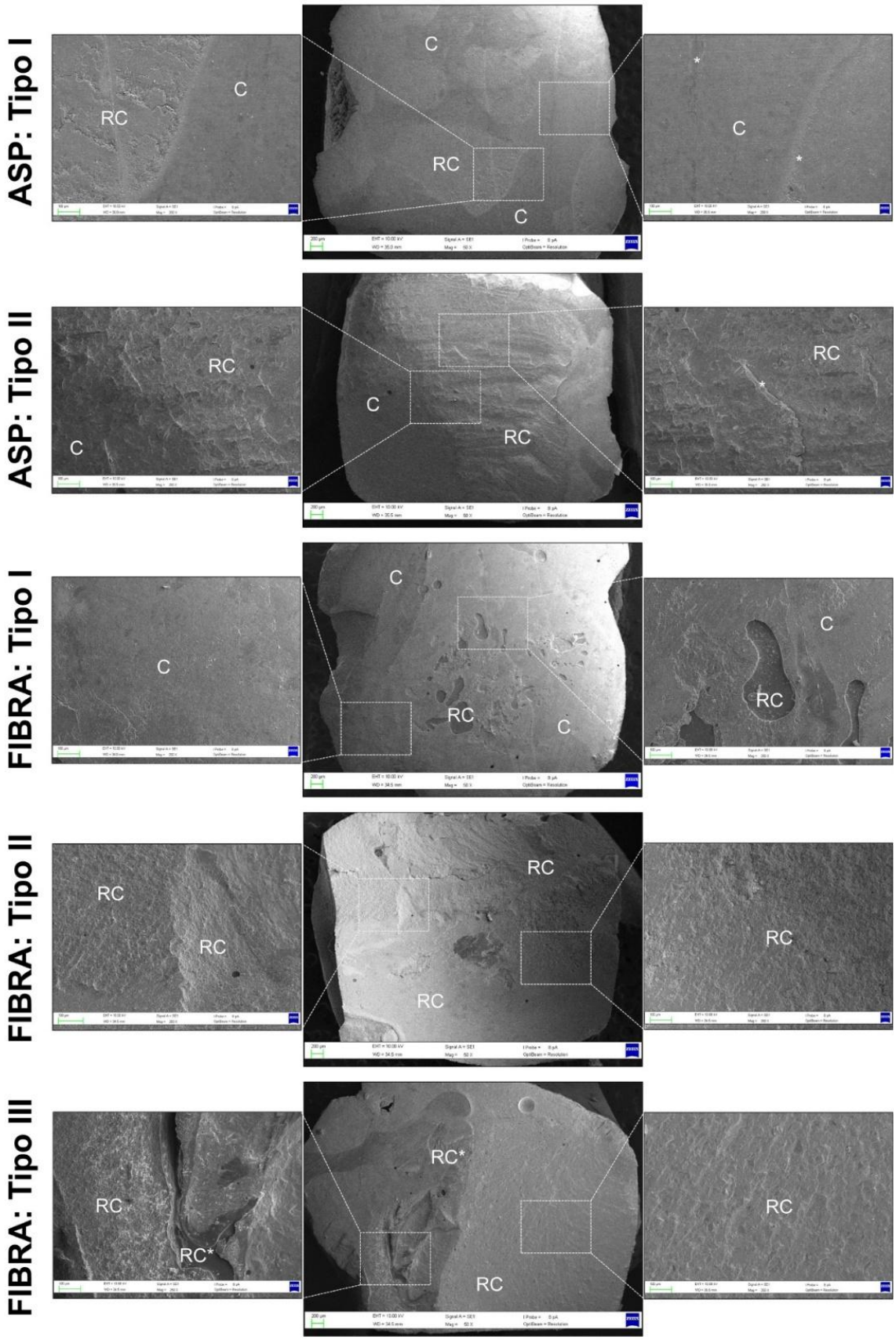


Figura 6. Micrografias dos padrões de falha das restaurações asperizadas com ponta diamantada (ASP) e recobertas com malha de fibras eletrofiadas (FIBRA). C – cimento resinoso; RC – superfície da resina composta; RC* – fratura no interior da resina composta (falha coesiva); * – risco criado pela ponta diamantada.

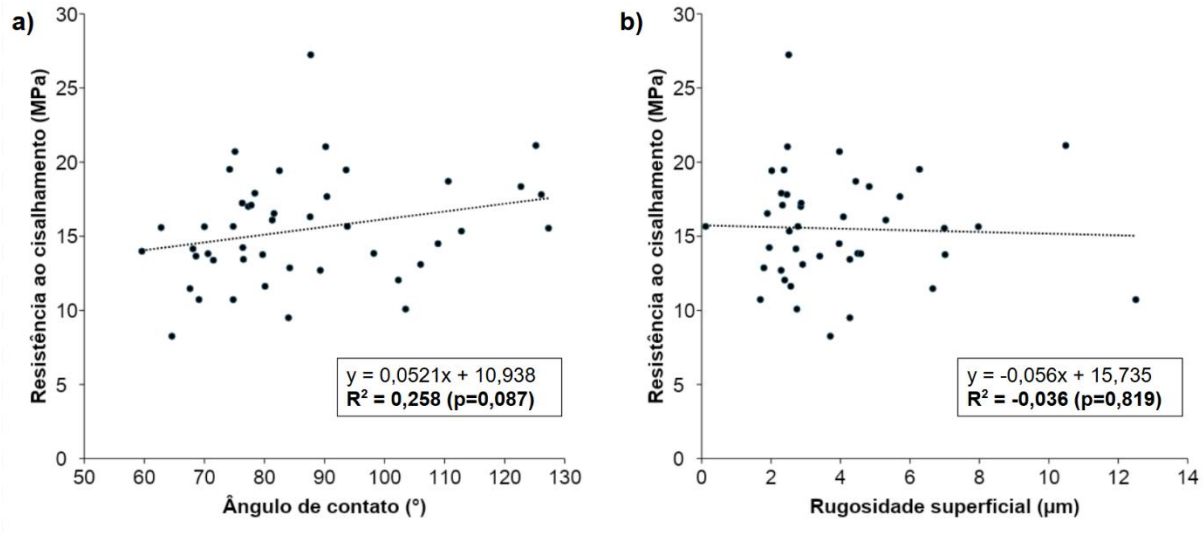


Figura 7. Gráficos da correlação entre a resistência de união ao cisalhamento e as variáveis resposta ângulo de contato (a) e rugosidade superficial (b).

4 Discussão

O presente estudo avaliou a influência de diferentes tratamentos de superfície na topografia, molhabilidade e resistência de união ao cisalhamento de uma resina composta indireta cimentada ao esmalte com cimento resinoso autoadesivo. Com base nos resultados obtidos, a primeira hipótese nula do estudo foi rejeitada, visto que os tratamentos de superfície alteraram de forma significativa a rugosidade e/ou a molhabilidade do substrato resinoso; contudo, a segunda hipótese nula foi aceita, uma vez que não houve diferença estatisticamente significativa na resistência de união imediata entre os grupos.

O tratamento superficial da resina composta objetiva aumentar a rugosidade superficial, proporcionando um melhor imbricamento micromecânico da resina ao substrato dental com a penetração do cimento nas irregularidades criadas, bem como um aumento da energia de superfície, promovendo um aumento no molhamento do material, ou seja, tornando-o mais hidrofílico [14]. Entretanto, paradoxalmente, a análise de goniometria revelou um aumento estatisticamente significativo do ângulo de contato dos grupos submetidos ao jateamento e à asperização mecânica, tornando a face interna da restauração mais hidrófoba. O grupo ASP, em particular, resultou nos maiores ângulos de contato do estudo, alterando de 72,8° no *baseline* para 105,0° após o tratamento de superfície. Resultados paradoxais também foram encontrados no estudo de Valente et al. [8], em que o tratamento superficial da resina composta

com ponta diamantada não alterou a molhabilidade do material, um resultado também observado em outro estudo envolvendo tratamento superficial em zircônia [15].

A avaliação do ângulo de contato da água destilada com o cimento fotoativado revelou um caráter nitidamente mais hidrofílico, com um ângulo de contato de apenas 41,8°. Essa disparidade—um cimento com tendências hidrofílicas precisando interagir com uma superfície resinosa tendendo para a hidrofobicidade—sugere uma incompatibilidade de energia de superfície que pode ter limitado o umedecimento adequado e a penetração íntima do agente cimentante nas irregularidades criadas. De fato, o grupo ASP foi o único a apresentar apenas falhas adesivas, seja entre o cimento e o esmalte ou entre o cimento e a resina composta. Em contrapartida, o grupo FIBRA foi o único a manter a molhabilidade estatisticamente inalterada em relação à sua condição inicial, o que possivelmente decorre da prévia silanização da amostra e do umedecimento das fibras com o agente de união, estabilizando a tensão superficial [16].

A análise topográfica evidenciou que os tratamentos de superfície alteraram significativamente a morfologia inicial da base da restauração, promovendo aumento na rugosidade. Conforme observado, o grupo FIBRA gerou as superfícies mais rugosas, seguido pelo grupo ASP, e, por fim, pelo grupo Al_2O_3, o qual resultou nos menores incrementos de rugosidade. As imagens 3D de perfilometria óptica (**Figura 4**) ilustram essas diferenças: o jateamento com Al_2O_3 criou um relevo denso, com picos agudos e vales irregulares; a asperização produziu sulcos profundos e estrias direcionais em um padrão de desgaste; e a camada de fibras eletrofiadas produziu um padrão de irregularidades moderadas e complexas. No entanto, apesar dessas expressivas modificações topográficas e do aumento teórico de área retentiva, o comportamento mecânico das restaurações não diferiu estatisticamente entre os grupos. Além disso, não foi observada correlação estatisticamente significativa entre a rugosidade superficial e a resistência ao cisalhamento (**Figura 6B**), sugerindo que uma maior rugosidade não necessariamente oferece maior resistência de união.

A equivalência estatística nos valores de resistência pode ser primariamente explicada pela limitação reológica de interação entre o cimento autoadesivo e as complexidades topográficas geradas em cada restauração. Uma hipótese é de que a viscosidade do cimento resinoso tenha impedido um escoamento ideal e uma penetração íntima nos sulcos profundos deixados pela ponta diamantada ou na intrincada malha tridimensional de fibras, embora os estudos de Almohareb et al. [17]

e Aragonez et al. [18] demonstraram não haver relação entre a viscosidade do cimento e desfechos de resistência de união. Porém, um aspecto importante de se considerar é que o grupo FIBRA apresentou a menor ocorrência de falhas adesivas do Tipo II, ou seja, aquelas envolvendo predominantemente a interface entre o cimento resinoso e a superfície da restauração de resina, indicando uma interação física mais resistente entre essas partes. Aliás, esse grupo apresentou 20% de falhas mistas com fratura coesiva de parte da restauração, mais uma vez indicando uma maior interação entre o cimento e a resina propriamente dita.

Outra hipótese seria de que a ausência de correlações estatisticamente significativas entre a resistência ao cisalhamento e as variáveis de rugosidade superficial e ângulo de contato é justificada pela própria dinâmica biomecânica do complexo adesivo formado. Em um sistema que envolve a interface esmalte-cimento-resina, a força máxima suportada antes da fratura é ditada pelo elo mais fraco do conjunto. Considerando que o preparo do substrato dentário foi padronizado em todas as amostras, é plausível inferir que a capacidade de interação química e micromecânica nesta interface específica tenha estabelecido um "teto" para a resistência de união [19]. Essa premissa é corroborada pela análise de falhas, que revelou uma predominância de falhas adesivas (Tipos I e II) em todos os grupos experimentais. Isso sugere que, independentemente do grau de retenção gerada na superfície da resina indireta, o colapso do sistema ocorreu no limite da capacidade adesiva do cimento com o substrato dentário.

Do ponto de vista clínico, a escolha do tratamento de superfície ideal para restaurações indiretas deve conciliar eficácia biomecânica, previsibilidade e viabilidade técnica na rotina odontológica. O jateamento com partículas de Al_2O_3 é amplamente documentado na literatura, podendo ser considerado como o protocolo padrão-ouro [5-7]. Contudo, em função da limitação ocasionada pela necessidade de equipamentos específicos, a busca por alternativas que proporcionem resultados satisfatórios de resistência com técnicas mais simples e menos onerosas deve ser incentivada. Nesse sentido, os achados do presente estudo demonstram que tanto a asperização prévia quanto a incorporação da malha de fibras eletrofiadas apresentaram desempenho semelhante ao do jateamento. Apesar do sistema de fibra eletrofiada ainda não estar disponível comercialmente na Odontologia, resultados favoráveis podem incentivar o desenvolvimento pela indústria.

No presente estudo, a fibra foi utilizada juntamente com o silano, que poderia mascarar a real influência da fibra; entretanto, estudos já demonstraram que o silano não produz efeitos significativos na resistência de união de restaurações indiretas [12,20]. Ainda assim, outras estratégias poderiam ser utilizadas para fixação da fibra à base da restauração, como a utilização de um adesivo para proporcionar adesão química à interface. Da mesma forma, diferentes formas de apresentação da fibra devem ser testadas em estudos futuros, variando parâmetros como espessura, composição química e orientação de alinhamento (fibras alinhadas ou aleatórias), já que essas variáveis podem influenciar diretamente no trabalho de fratura do material/restauração [21,22].

O presente estudo considerou apenas o esmalte como substrato de adesão, já que são poucos os estudos que investigaram o efeito adesivo de tratamentos superficiais de restaurações indiretas de resina composta nesse substrato dentário. Vale salientar que a maioria das restaurações indiretas cimentadas em cavidades dentárias envolve uma interface adesiva resina-esmalte, especialmente no ângulo cavo-superficial, ou seja, na margem externa da restauração. Sendo assim, é importante oferecer um adequado selamento adesivo nessa interface. Por fim, embora cimentos resinosos convencionais ofereçam um melhor desempenho adesivo ao esmalte [23,24], essa opção não foi a escolhida no presente estudo. De fato, o foco foi avaliar a interação superficial entre o cimento e a superfície interna da restauração, e, por isso, um cimento resinoso com menor potencial adesivo ao substrato dentário avaliado, como o autoadesivo, foi escolhido. Mesmo assim, um gel de ácido fosfórico foi propositalmente aplicado na superfície do esmalte para criar uma desmineralização inicial e textura padronizada em todos os grupos experimentais. Estudos futuros devem considerar a utilização de cimentos resinosos convencionais como agente de cimentação, bem como avaliar o efeito desses tratamentos de superfície em dentina.

5. Conclusão

Com base nos resultados deste estudo *in vitro*, pode-se concluir que:

- Os diferentes métodos de tratamento de superfície alteraram significativamente as características superficiais da resina composta indireta, promovendo o aumento da rugosidade superficial em todos os grupos avaliados.

- A aplicação da malha de fibras eletrofiadas foi o único tratamento capaz de manter a molhabilidade inicial do substrato resinoso, enquanto o jateamento com óxido de alumínio e a asperização com ponta diamantada tornaram a superfície significativamente mais hidrofóbica.
- Apesar das expressivas modificações topográficas e das variações na energia de superfície, a resistência de união imediata ao cisalhamento da interface resina-cimento-esmalte não diferiu estatisticamente entre os tratamentos propostos.
- Do ponto de vista clínico, a asperização com ponta diamantada e a aplicação de malha de fibras eletrofiadas demonstraram desempenho adesivo semelhante ao do jateamento com óxido de alumínio (padrão-ouro), apresentando-se como alternativas viáveis e promissoras para o tratamento da superfície interna de restaurações indiretas em resina composta.

Agradecimentos

Os autores são gratos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código 001) pelo financiamento à pesquisa, e ao Dr. Daniel Weibel pela sua valiosa contribuição e apoio técnico durante o uso do perfilômetro óptico e goniômetro localizados no Laboratório Multi-Usuários de Análise de Superfícies (LAMAS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Referências

[1] C. Moussa, G. Savard, G. Rochefort, M. Renaud, F. Denis, M.H. Daou, Fracture resistance of direct versus indirect restorations on posterior teeth: A systematic review and meta-analysis, Bioengineering. 11 (2024) 536. https://doi.org/10.3390/bioengineering11060536.

[2] M. Marcondes, N. Souza, F.B. Manfroi, L.H. Burnett Jr, A.M. Spohr, Clinical evaluation of indirect composite resin restorations cemented with different resin cements, J. Adhes. Dent. 18 (2016) 59 – 67. https://doi.org/10.3290/j.jad.a35519.

[3] E.P. Prochnow, M. Amaral, C.D. Bergoli, T.B. Silva, G. Saavedra, L.F. Valandro, Microtensile bond strength between indirect composite resin inlays and dentin: Effect of cementation strategy and mechanical aging, J. Adhes. Dent. 16 (2014) 357 – 363. https://doi.org/10.3290/j.jad.a31801.

[4] C. D'Arcangelo, L. Vanini, Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations, J. Adhes. Dent. 9 (2007) 319 – 326.

[5] B. Cournault, G. Hattenberger, T. Roman, H. Jmal, N. Kharouf, O. Etienne, Influence of biomaterial sandblasting and dentin adhesive strategies on the shear bond strength of CAD/CAM composite resins, Dent. Mater. 41 (2025) 1091 – 1098. https://doi.org/10.1016/j.dental.2025.06.021.

[6] F.M. Ferreira, C. Braga, C.A. Klein-Júnior, B.B. Veleda, M.C. Erhardt, F.H. Coelho-de-Souza, Influência do tratamento de superfície na resistência de união por cisalhamento de um cerômero indireto, Rev. Fac. Odontol. Porto Alegre. 53 (2012) 17 – 20. https://doi.org/10.22456/2177-0018.30866.

[7] L.L. Valente, M.F. Silva, A.S. Fonseca, E.A. Münchow, C.P. Isolan, R.R. Moraes, Effect of diamond bur grit size on composite repair, J. Adhes. Dent. 17 (2015) 257 – 263. https://doi.org/10.3290/j.jad.a34398.

[8] L.S. Albergaria, C.K. Scotti, R.F.L. Mondelli, H.A. Vega, C.M. Faggion Jr, J.F.S. Bombonatti, M.M.A.C. Velo, Effect of nanofibers as reinforcement on resin-based dental materials: A systematic review of in vitro studies, Jpn. Dent. Sci. Rev. 59 (2023) 239 – 252. https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.07.002.

[9] A.V. Barbosa Kasuya, I.N. Favarão, A.C. Machado, P.H. Rezende Spini, P.V. Soares, R.B. Fonseca, Development of a fiber-reinforced material for fiber posts: Evaluation of stress distribution, fracture load, and failure mode of restored roots, J. Prosthet. Dent. 123 (2020) 829 – 838. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.026.

[10] Q. Shi, S.C. Wong, W. Ye, J. Hou, J. Zhao, J. Yin, Mechanism of adhesion between polymer fibers at nanoscale contacts, Langmuir 28 (2012) 4663 – 4671. https://doi.org/10.1021/la204633c.

[11] J.L.S. Martins, Influência do tratamento de superfície de um sistema de compósito restaurador indireto sobre a resistência de união ao cisalhamento, Thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

[12] M. Zafar, S. Najeeb, Z. Khurshid, M. Vazirzadeh, S. Zohaib, B. Najeeb, F. Sefat, 2016. Potential of Electrospun Nanofibers for Biomedical and Dental Applications. Materials (Basel). 9, 73. https://doi.org/10.3390/ma9020073.

[13] B. Feng, H. Tu, H. Yuan, H. Peng, Y. Zhang, Acetic-acid-mediated miscibility toward electrospinning homogeneous composite nanofibers of GT/PCL, Biomacromolecules 13 (2012) 3917 – 3925. https://doi.org/10.1021/bm3009389.

[14] M. Szalóki, Z. Szabó, R. Martos, A. Csík, G.J. Szőllősi, C. Hegedűs, 2023. The Surface Free Energy of Resin-Based Composite in Context of Wetting Ability of Dental Adhesives. Applied Sciences. 13, 12061. https://doi.org/10.3390/app132112061.

[15] S. Demiroğlu, S. Ongun, 2025. Influence of Surface Treatments and Thermocycling on Wettability, Roughness, and Bond Strength of Lithium Disilicate CAD/CAM Ceramics. Materials. 18, 4831. https://doi.org/10.3390/ma18214831.

[16] O.M.D.S. Neto, I.C.C. Souto, A.P. Macedo, R.P. Almeida, 2026. Effect of primer composition on zirconia surface properties and bond strength. European Journal of Oral Sciences. 134, e70052. https://doi.org/10.1111/eos.70052.

[17] T. Almohareb, A. Maawadh, L. AlDeeb, K. Alahdal, A.S. Alshamrani, A. Alrahlah, Influence of High- and Low-Viscosity Resin Cement and Artificial Aging on Bond Integrity and Surface Roughness of Lithium Disilicate Ceramics Pretreated with Ho:YAG Laser and Nano-Hydroxyapatite Coatings, J. Ceram. Sci. Technol. 16 (2024) 29 – 36. https://doi.org/10.4416/JCST2024-00026.

[18] G.C. Aragonez, P.S. Machado, G.K.R. Pereira, L.F. Valandro, M.P. Rippe, Impact of resin cement viscosity on bond strength to different zirconia ceramics after aging condition, Braz. Dent. Sci. 28 (2025) 1 – 11.

[19] J. De Munck, K. Van Landuyt, M. Peumans, A. Poitevin, P. Lambrechts, M. Braem, B. Van Meerbeek, A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results, J. Dent. Res. 84 (2005) 118 – 132. https://doi.org/10.1177/154405910508400204.

[20] M.I. Honda, F.M. Flório, R.T. Basting, Effectiveness of indirect composite resin silanization evaluated by microtensile bond strength test, Am. J. Dent. 21 (2008) 153 – 158.

[21] A.L.S. Borges, et al., Effect of random/aligned nylon-6/MWCNT fibers on dental resin composite reinforcement, J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 48 (2015) 134 – 144. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.03.019.

[22] N.I. Gonçalves, E.A. Münchow, J.D. Santos, T.P. Sato, L.R. de Oliveira, T.J. de Arruda Paes-Junior, M.C. Bottino, A.L.S. Borges, 2020. The role of polymeric nanofibers on the mechanical behavior of polymethyl methacrylate resin. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 112, 104072. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104072.

[23] K. Hikita, B. Van Meerbeek, J. De Munck, T. Ikeda, K. Van Landuyt, T. Maida, P. Lambrechts, M. Peumans, Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin, Dent. Mater. 23 (2007) 71 – 80. https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.12.002.

[24] A.K. Lührs, S. Guhr, H. Günay, W. Geurtsen, Shear bond strength of self-adhesive resins compared to resin cements with etch and rinse adhesives to enamel and dentin in vitro, Clin. Oral Investig. 14 (2010) 193 – 199. https://doi.org/10.1007/s00784-009-0279-z.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação conclui que a eficácia dos tratamentos de superfície para restaurações indiretas de resina composta não é universal, sendo dependente do substrato dentário ao qual a peça será unida. Para casos em que o esmalte é o substrato predominante, a estratégia que maximiza a resistência de união é a associação do jateamento com óxido de alumínio 50 μm seguido da aplicação de silano e sistema adesivo. Por outro lado, na adesão à dentina, o protocolo composto por jateamento, peróxido de hidrogênio e silano demonstrou a maior probabilidade de superioridade. Em ambos os cenários, a alteração topográfica mecânica confirmou-se como o requisito primário para o sucesso adesivo, uma vez que tratamentos baseados apenas em condicionamento químico ou abrasão leve fornecem resultados inferiores de resistência de união.

A investigação laboratorial revelou que alternativas ao jateamento, como a asperização com ponta diamantada e o uso de malhas de fibras eletrofiadas, apresentam desempenho adesivo semelhante em termos de resistência de união imediata ao esmalte. Embora todos os tratamentos testados tenham aumentado significativamente a rugosidade superficial, eles influenciaram a molhabilidade de formas distintas. Enquanto o jateamento e a asperização tornaram a superfície da resina significativamente menos hidrofílica e mais hidrofóbica respectivamente, a aplicação da malha de fibras eletrofiadas foi o único método capaz de manter a molhabilidade inicial do material. Essa manutenção da energia de superfície sugere uma interação física mais estável entre o cimento e a restauração, porém sem efeito na resistência de união.

Por fim, os achados reforçam práticas que devem ser evitadas na rotina clínica para garantir a longevidade das restaurações. O condicionamento excessivo do esmalte através da adição de ácido fluorídrico ao protocolo de jateamento exerce um efeito deletério severo na interface adesiva e deve ser contraindicado. Da mesma forma, a prática de cimentar resinas indiretas utilizando apenas condicionamento ácido ou silano, sem promover um imbricamento micromecânico robusto através do jateamento ou asperização, compromete a estabilidade da união.

6 REFERÊNCIAS

ALBERGARIA, L. S. *et al*. Effect of nanofibers as reinforcement on resin-based dental materials: A systematic review of in vitro studies. **Jpn. Dent. Sci. Rev.**, v. 59, p. 239-252, dez. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.07.002

ALMOHAREB, T. *et al*. Influence of High- and Low-Viscosity Resin Cement and Artificial Aging on Bond Integrity and Surface Roughness of Lithium Disilicate Ceramics Pretreated with Ho:YAG Laser and Nano-Hydroxyapatite Coatings. **J. Ceram. Sci. Technol.**, v. 16, p. 29-36, mar. 2024. DOI: https://doi.org/10.4416/JCST2024-00026.

ARAGONEZ, G. C. *et al*. Impact of resin cement viscosity on bond strength to different zirconia ceramics after aging condition. **Braz. Dent. Sci.**, v. 28, n. 4, p. 1-11, out./dez. 2025.

AZEEM, R. A.; SURESHBABU, N. M. Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. **J. Conserv. Dent.**, v. 21, n. 1, p. 2-9, jan./fev. 2018. DOI: 10.4103/JCD.JCD_213_16.

BARABANTI, Nicola *et al*. Indirect composite restorations luted with two different procedures: a ten years follow up clinical trial. **J. Clin. Exp. Dent.**, v. 7, n. 1, p. e54-e59, fev. 2015. DOI: https://doi.org/10.4317/jced.51604.

BARBOSA KASUYA, A. V. *et al*. Development of a fiber-reinforced material for fiber posts: Evaluation of stress distribution, fracture load, and failure mode of restored roots. **J. Prosthet. Dent.**, v. 123, n. 6, p. 829-838, jun. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.026.

BATITUCCI, M. H. G. **Influência do tratamento da superfície de compósitos para técnica indireta na resistência de união ao esmalte dentário humano por ensaio de cisalhamento**. 2001. Dissertação (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

BORGES, A. L. S. *et al*. Effect of random/aligned nylon-6/MWCNT fibers on dental resin composite reinforcement. **J. Mech. Behav. Biomed. Mater.**, v. 48, p. 134-144, ago. 2015. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2015.03.019.

BRAGA, R. R. *et al*. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. **Dent. Mater.**

COURNAULT, B. *et al*. Influence of biomaterial sandblasting and dentin adhesive strategies on the shear bond strength of CAD/CAM composite resins. **Dent. Mater.**, v. 41, n. 9, p. 1091-1098, set. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2025.06.021.

D'ARCANGELO, C.; VANINI, L. Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations. **J. Adhes. Dent.**, v. 9, n. 3, p. 319-326, jun. 2007.

DA VEIGA, A. M. A. et al. Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. **J. Dent.**, v. 54, p. 1–12, nov. 2016.

DE LIMA, E. *et al*. Universal cements: dual activated and chemically activated. **Acta Biomater. Odontol. Scand.**, v. 2, n. 1, p. 125-129, set. 2026. DOI: https://doi.org/10.1080/23337931.2016.1221314.

DE MUNCK, J. *et al*. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. **J. Dent. Res.**, v. 84, n. 2, p. 118-132, fev. 2005. DOI: https://doi.org/10.1177/154405910508400204.

DEJAK, B.; MŁOTKOWSKI, A. A comparison of stresses in molar teeth restored with inlays and direct restorations, including polymerization shrinkage of composite resin and tooth loading during mastication. **Dent. Mater.**, v. 31, n. 3, p. e77-e87, mar. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.11.016.

DELGADO, A. H. *et al*. RoBDEMAT: A risk of bias tool and guideline to support reporting of pre-clinical dental materials research and assessment of systematic reviews. **J. Dent.**, v. 127, p. 104350, dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104350.

DEMIROĞLU, S.; ONGUN, S. Influence of Surface Treatments and Thermocycling on Wettability, Roughness, and Bond Strength of Lithium Disilicate CAD/CAM Ceramics.

Materials (Basel), v. 18, n. 21, p. 4831, nov. 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ma18214831.

DIAS, S. *et al*. Checking consistency in mixed treatment comparison meta-analysis. **Stat. Med.**, v. 29, n. 7-8, p. 932-944, mar. 2010. DOI: https://doi.org/10.1002/sim.3767.

FEHRENBACH, J. *et al*. Which self-etch acidic composition may result in higher dental bonds at the long-term? A network meta-analysis review of in vitro studies. **J. Dent.**, v. 126, p. 104283, nov. 2022. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104283.

FEHRENBACH, J.; ISOLAN, C. P.; MÜNCHOW, E. A. Is the presence of 10-MDP associated to higher bonding performance for self-etching adhesive systems? A meta-analysis of in vitro studies. **Dent. Mater.**, v. 37, n. 10, p. 1463-1485, out. 2021. DOI: 10.1016/j.dental.2021.08.014.

FENG, B. *et al*. Acetic-acid-mediated miscibility toward electrospinning homogeneous composite nanofibers of GT/PCL. **Biomacromolecules**, v. 13, n. 12, p. 3917-3925, dez. 2012. DOI: https://doi.org/10.1021/bm3009389.

FERREIRA, F. M. *et al*. Influência do tratamento de superfície na resistência de união por cisalhamento de um cerômero indireto. **Rev. Fac. Odontol. Porto Alegre**, v. 53, n. 1, p. 17-20, 2012. DOI: https://doi.org/10.22456/2177-0018.30866. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/RevistadaFaculdadeOdontologia/article/view/30866. Acesso em: 17 mar. 2026.

FUENTES, M. V.; CEBALLOS, L.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, S. Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. **Clin. Oral Investig.**, v. 17, n. 3, p. 717-724, abr. 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s00784-012-0752-y.

FUENTES, M. V. *et al*. Effect of indirect composite treatment microtensile bond strength of self-adhesive resin cements. **J. Clin. Exp. Dent.**, v. 8, n. 1, p. e14-e21, fev. 2016. DOI: https://doi.org/10.4317/jced.52754.

GONÇALVES, N. I. *et al*. The role of polymeric nanofibers on the mechanical behavior of polymethyl methacrylate resin. **J. Mech. Behav. Biomed. Mater.**, v. 112, p. 104072, dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104072.

GUPTA, S. *et al*. A comparative effect of various surface chemical treatments on the resin composite-composite repair bond strength. **J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent.**, v. 33, n. 3, p. 245-249, jul./set. 2015. DOI: https://doi.org/10.4103/0970-4388.160402.

HIKITA, K. *et al*. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. **Dent. Mater.**, v. 23, n. 1, p. 71-80, jan. 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.12.002.

HONDA, M. I.; FLÓRIO, F. M.; BASTING, R. T. Effectiveness of indirect composite resin silanization evaluated by microtensile bond strength test. **Am. J. Dent.**, v. 21, n. 3, p. 153-158, jun. 2008.

HUTTON, B. *et al*. The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: checklist and explanations. **Ann. Intern. Med.**, v. 162, n. 11, p. 777-784, jun. 2015. DOI: https://doi.org/10.7326/M14-2385.

JONGSMA, L. A.; KLEVERLAAN, C. J.; FEILZER, A. J. Clinical success and survival of indirect resin composite crowns: results of a 3-year prospective study. **Dent. Mater.**, v. 28, n. 9, p. 952-960, set. 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.04.007.

JOSIC, U. *et al*. Clinical longevity of direct and indirect posterior resin composite restorations: An updated systematic review and meta-analysis. **Dent. Mater.**, v. 39, n. 12, p. 1085-1094, dez. 2023. DOI: 10.1016/j.dental.2023.10.009.

KIEFER, C.; STURTZ, S.; BENDER, R. Indirect Comparisons and Network Meta-Analyses. **Dtsch. Arztebl. Int.**, v. 112, n. 47, p. 803-808, nov. 2015. DOI: https://doi.org/10.3238/arztebl.2015.0803.

LOOMANS, B. A. *et al*. Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. **J. Dent.**, v. 39, n. 7, p. 499-505, jul. 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.04.007.

LÜHRS, A. K. *et al*. Shear bond strength of self-adhesive resins compared to resin cements with etch and rinse adhesives to enamel and dentin in vitro. **Clin. Oral**

Investig., v. 14, n. 2, p. 193-199, abr. 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s00784-009-0279-z.

LUNG, C. Y.; MATINLINNA, J. P. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. **Dent. Mater.**, v. 28, n. 5, p. 467-477, maio 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009.

MAINJOT, A. K. *et al*. From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites. **J. Dent. Res.**, v. 95, n. 5, p. 487-495, maio 2016. DOI: 10.1177/0022034516634286.

MALTA, D. A.; MAGNE, P.; MONTEIRO-JUNIOR, S. Bond strength and monomer conversion of indirect composite resin restorations, Part 1: Light vs heat polymerization. **J. Adhes. Dent.**, v. 16, n. 6, p. 517-522, dez. 2014. DOI: https://doi.org/10.3290/j.jad.a33199.

MARCONDES, M. *et al*. Clinical Evaluation of Indirect Composite Resin Restorations Cemented with Different Resin Cements. **J. Adhes. Dent.**, v. 18, n. 1, p. 59-67, fev. 2016. DOI: https://doi.org/10.3290/j.jad.a35519

MARTINS, J. L. S. **Influência do tratamento de superfície de um sistema de compósito restaurador indireto sobre a resistência de união ao cisalhamento**. 2002. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MATINLINNA, J. P.; LUNG, C. Y. K.; TSOI, J. K. H. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. **Dent. Mater.**, v. 34, n. 1, p. 13-28, jan. 2018. DOI: 10.1016/j.dental.2017.09.002.

MENDES, L. T. *et al*. Silane Coupling Agents are Beneficial for Resin Composite Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. **J. Adhes. Dent.**, v. 22, n. 5, p. 443-453, out. 2020. DOI: https://doi.org/10.3290/j.jad.a45175

MERCANTE, L. A.; CORRÊA, D. S. (org.). **Eletrofiação e nanofibras**: fundamentos e aplicações. Ponta Grossa: Atena Editora, 2023. E-book. DOI: 10.22533/at.ed.528231312.

MOUSSA, C. *et al*. Fracture Resistance of Direct versus Indirect Restorations on Posterior Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Bioengineering (Basel)**, v. 11, n. 6, p. 536, maio 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/bioengineering11060536

NANDINI, S. Indirect resin composites. **J. Conserv. Dent.**, v. 13, n. 4, p. 184-194, out. 2010. DOI: https://doi.org/10.4103/0972-0707.73377.

NETO, O. M. D. S. *et al*. Effect of primer composition on zirconia surface properties and bond strength. **Eur. J. Oral Sci.**, v. 134, n. 1, p. e70052, fev. 2026. DOI: https://doi.org/10.1111/eos.70052.

NEVILL, C. R.; COOPER, N. J.; SUTTON, A. J. A multifaceted graphical display, including treatment ranking, was developed to aid interpretation of network meta-analysis. **J. Clin. Epidemiol.**, v. 157, p. 83-91, maio 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2023.02.016.

OUZZANI, M. *et al*. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Syst. Rev.**, v. 5, n. 1, p. 210, dez. 2016. DOI: https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4.

OWEN, R. K. *et al*. MetaInsight: An interactive web-based tool for analyzing, interrogating, and visualizing network meta-analyses using R-shiny and netmeta. **Res. Synth. Methods**, v. 10, n. 4, p. 569-581, dez. 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/jrsm.1373.

OZAKAR-ILDAY, N. *et al*. Three-year clinical performance of two indirect composite inlays compared to direct composite restorations. **Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal**, v. 18, n. 3, p. e521-e528, maio 2013. DOI: https://doi.org/10.4317/medoral.18491.

PAGANI, C. Resistência de união dentina/cimentos resinosos/materiais indiretos e tratamento de superfície. **Rev. Assoc. Paul. Cir. Dent.**, v. 58, n. 3, p. 189-194, maio/jun. 2004.

PAPACCHINI, F. *et al*. The application of hydrogen peroxide in composite repair. **J. Biomed. Mater. Res. Part B**, v. 82, n. 2, p. 298-304, ago. 2007. DOI: https://doi.org/10.1002/jbm.b.30733.

PAPADOPOULOS, K. *et al*. Evaluation of the Surface Characteristics of Dental CAD/CAM Materials after Different Surface Treatments. **Materials (Basel)**, v. 13, n. 4, p. 981, fev. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/ma13040981.

PINTO, G. *et al*. Effect of different adhesive strategies on the microtensile bond strength of dentin to indirect resin-based composite. **J. Clin. Exp. Dent.**, v. 12, n. 11, p. e1066-e1070, nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.4317/jced.57094.

POSKUS, L. T. *et al*. Effects of different surface treatments on bond strength of an indirect composite to bovine dentin. **Indian J. Dent. Res.**, v. 26, n. 3, p. 289-294, maio/jun. 2015. DOI: https://doi.org/10.4103/0970-9290.162884

PROCHNOW, E. *et al*. Microtensile bond strength between indirect composite resin inlays and dentin: effect of cementation strategy and mechanical aging. **J. Adhes. Dent.**, v. 16, n. 3, p. 241-248, jun. 2014. DOI: https://doi.org/10.3290/j.jad.a31801.

RITTER, A. V. *et al*. Effect of surface treatment and cement type on dentin bonding of processed resin composite. **Am. J. Dent.**, v. 32, n. 6, p. 271-275, dez. 2019.

SALANTI, G.; ADES, A. E.; IOANNIDIS, J. P. Graphical methods and numerical summaries for presenting results from multiple-treatment meta-analysis: an overview and tutorial. **J. Clin. Epidemiol.**, v. 64, n. 2, p. 163-171, fev. 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.03.016.

SHI, Q. *et al*. Mechanism of adhesion between polymer fibers at nanoscale contacts. **Langmuir**, v. 28, n. 10, p. 4663-4671, mar. 2012. DOI: https://doi.org/10.1021/la204633c.

SOARES, C. J. *et al*. Effect of surface treatments of laboratory-fabricated composites on the microtensile bond strength to a luting resin cement. **J. Appl. Oral Sci.**, v. 12, n. 1, p. 45-50, mar. 2004. DOI: 10.1590/s1678-77572004000100009.

SPITZNAGEL, F. A. *et al*. Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. **J. Esthet. Restor. Dent.**, v. 26, n. 6, p. 382-393, nov./dez. 2014. DOI: 10.1111/jerd.12100.

SWIFT JÚNIOR, E. J. *et al*. Treatment of composite surfaces for indirect bonding. **Dent. Mater.**, v. 8, n. 3, p. 193-196, maio 1992. DOI: 10.1016/0109-5641(92)90082-n.

SZALÓKI, M. *et al*. The Surface Free Energy of Resin-Based Composite in Context of Wetting Ability of Dental Adhesives. **Appl. Sci.**, v. 13, n. 21, p. 12061, nov. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/app132112061.

TAKAHASHI, N. *et al*. Influence of surface treatment on bonding of resin luting cement to CAD/CAM composite blocks. **Dent. Mater. J.**, v. 39, n. 5, p. 834-843, set. 2020. DOI: https://doi.org/10.4012/dmj.2019-247.

TAO, L.; XU, X.; CUI, Z. [The effect of air abrasion on enamel composite resin adhesive strength]. **Shanghai J. Stomatol.**, v. 10, n. 3, p. 231-232, set. 2001.

TORRES, S. M. *et al*. The effect of surface treatments on the micro-shear bond strength of a resin luting agent and four all-ceramic systems. **Oper. Dent.**, v. 34, n. 4, p. 399-407, jul./ago. 2009. DOI: https://doi.org/10.2341/08-87.

VALENTE, L. L. *et al*. Effect of Diamond Bur Grit Size on Composite Repair. **J. Adhes. Dent.**, v. 17, n. 3, p. 257-263, jun. 2015. DOI: 10.3290/j.jad.a34398.

VAN RAVENZWAAIJ, D.; CASSEY, P.; BROWN, S. D. A simple introduction to Markov Chain Monte-Carlo sampling. **Psychon. Bull. Rev.**, v. 25, n. 1, p. 143-154, fev. 2018. DOI: https://doi.org/10.3758/s13423-016-1015-8.

VEIGA, A. M. da *et al*. Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. **J. Dent.**, v. 54, p. 1-12, nov. 2016. DOI: 10.1016/j.jdent.2016.08.003.

ZAFAR, M. *et al*. Potential of Electrospun Nanofibers for Biomedical and Dental Applications. **Materials (Basel)**, v. 9, n. 2, p. 73, jan. 2016. DOI: https://doi.org/10.3390/ma9020073.