



ACESSO ABERTO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE *ATTACHMENTS* UTILIZADOS EM TRATAMENTO ORTODÔNTICO COM ALINHADORES**Data de Recebimento:**

27/02/2026

Data de Aceite:

10/03/2026

Data de Publicação:

11/04/2026

Alessandra Teixeira da Silva^a, Yasmin Samara Costa Valério^a, Maria Regina Santos Nobrega^a, Carlos Eduardo de Paiva Campos Nogueira Simão^a, Emmily Tamiris Farias Pinto^a, Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas^a.

^a Departamento de odontologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av. Sen. Salgado Filho – Lagoa Nova, Natal – RN, 59064-630

RESUMO

Introdução: Os *attachments* são partes fundamentais do tratamento ortodôntico com alinhadores em que a fratura ou queda desses dispositivos podem causar atrasos no tratamento ortodôntico, causando perda da efetividade do movimento planejado e/ou tracking do alinhador. **Metodologia:** 120 coroas bovinas foram incluídas em resina acrílica e utilizadas como base para confecção dos *attachments*. Um corpo de prova foi escaneado digitalmente e um attachment retangular foi planejado e impresso em 3D para confecção dos *templates* em placa de acetato com espessura de 0,5 mm. Dividiu-se a amostra em 3 grupos de 40 coroas correspondentes às resinas Opallis Flow®, GrandioSO Heavy Flow® e Supreme Flowable Restorative®, os quais foram divididos em subgrupos (10 coroas) de tempo de polimerização, sendo estes: 3 segundos (3.200 mW/cm²), 6 segundos (3.200 mW/cm²), 20 segundos (1.000 mW/cm²) e 40 segundos (1.000 mW/cm²). Os *attachments* foram instalados e os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de cisalhamento. **Resultados:** Os dados do ensaio de cisalhamento demonstraram que o fator “resina” (VOCO = 29,2 a MPa, FGM = 34,4 a MPa, 3M = 43 b MPa, p = <.001) e “tempo de polimerização” (3s = 31,2 a MPa, 6s = 36,6 ab MPa, 20s = 33,3 ab MPa e 40s = 40,9 b MPa, p = 0.006) apresentaram diferenças significativas entre os grupos. **Conclusão:** A resina Supreme Flowable Restorative® e o tempo de polimerização por 40 segundos demonstraram a maior força de cisalhamento no protocolo estudado.

***Autor correspondente:**

Alessandra Teixeira da Silva,
cirurgiã-dentista, Rua Flora
Varela, n° 41, Planalto, Ceará-
mirim – RN, 59570-000.
Contato: (84) 98822-5094
E-mail: alessandrasilva1999@
hotmail.com

Citação:

SILVA, A.T, et al; Avaliação da resistência ao cisalhamento de *attachments* utilizados em tratamento ortodôntico com alinhadores.

Revista Multidisciplinar em Saúde, v. 7, n. 2, 2026. <https://doi.org/10.51161/integrar/rem/4778>

Palavras-chave: Resistência ao cisalhamento; Resinas; Alinhadores estéticos

ABSTRACT

Introduction: Attachments are a fundamental part of orthodontic treatment with aligners and the fracture or fall of these devices can cause delays in orthodontic treatment, causing loss of effectiveness of the planned movement and/or tracking of the aligner. Methodology: 120 bovine crowns were embedded in acrylic resin and used as a base for making the attachments.

DOI: 10.51161/integrar/rem/4778

Editora Integrar© 2026.

Todos os direitos reservados.

A specimen was digitally scanned and a rectangular attachment was planned and 3D printed for making the templates in acetate plate with a thickness of 0.5 mm. The sample was divided into 3 groups of 40 crowns corresponding to Opallis Flow®, GrandioSO Heavy Flow® and Supreme Flowable Restorative® resins, which were divided into subgroups (10 crowns) for polymerization time, namely: 3 seconds (3,200 mW/cm²), 6 seconds (3,200 mW/cm²), 20 seconds (1,000 mW/cm²) and 40 seconds (1,000 mW/cm²). The attachments were installed and the specimens were submitted to the shear test. Results: The shear test data showed that the factor “resin” (VOCO = 29.2a MPa, FGM = 34.4a MPa, 3M = 43b MPa, $p = <.001$) and “polymerization time” (3s = 31.2a MPa, 6s = 36.6ab MPa, 20s = 33.3ab MPa and 40s = 40.9b MPa, $p = .006$) showed significant differences between the groups. Conclusion: The Supreme Flowable Restorative® resin and the polymerization time for 40 seconds demonstrated the highest shear force in the protocol studied.

Keywords: Shear strength; Resins; Aesthetic aligners.

INTRODUÇÃO

O tratamento com alinhadores ortodônticos tem evoluído muito nos últimos anos e essa evolução pode ser atribuída basicamente à ciência, à experiência dos profissionais com tais dispositivos e à melhora constante dos softwares e na qualidade dos alinhadores (BARREDA et al., 2017).

Durante o planejamento virtual do tratamento com alinhadores, o profissional pode observar a necessidade de confeccionar *attachments* para realização de movimentos específicos, mais complexos e para melhorar o controle da magnitude desses movimentos (GUEDES; FERRONATO; MARTINS, 2019). Os *attachments* são acessórios de resina confeccionados sobre o esmalte dentário, com a finalidade de aumentar o poder de correção das maloclusões com alinhadores, de aumentar a retenção das placas e auxiliar nas movimentações dentárias, principalmente em casos de extrusão/intrusão, rotação e angulação dos dentes (MOMTAZ, 2016). O seu posicionamento, a sua espessura, o seu tamanho, o seu formato e a sua orientação devem ser definidos de acordo com as diferentes necessidades clínicas do paciente para se alcançar o melhor resultado possível com os alinhadores removíveis termoformados estéticos (GUEDES; FERRONATO; MARTINS, 2019; CHEN et al., 2016).

Uma vez instalados, devem ser mantidos pelo tempo necessário para a correta movimentação dentária mantendo constantes sua integralidade, forma e propriedades estéticas e mecânicas durante todo o tratamento (GUEDES; FERRONATO; MARTINS, 2019).

O desgaste, fratura ou queda dos *attachments* comprometem a eficiência do movimento, causando maior consumo de tempo clínico para nova confecção desses dispositivos. Para garantir estabilidade e boa adesão, é necessário determinar um protocolo seguro de instalação visando obter uma resistência adequada ao cisalhamento provenientes da mastigação e inserção/remoção dos alinhadores.

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a diferença de resistência ao cisalhamento de diferentes compósitos resinosos submetidos a diferentes protocolos de fotopolimerização.

MATERIAIS E MÉTODOS

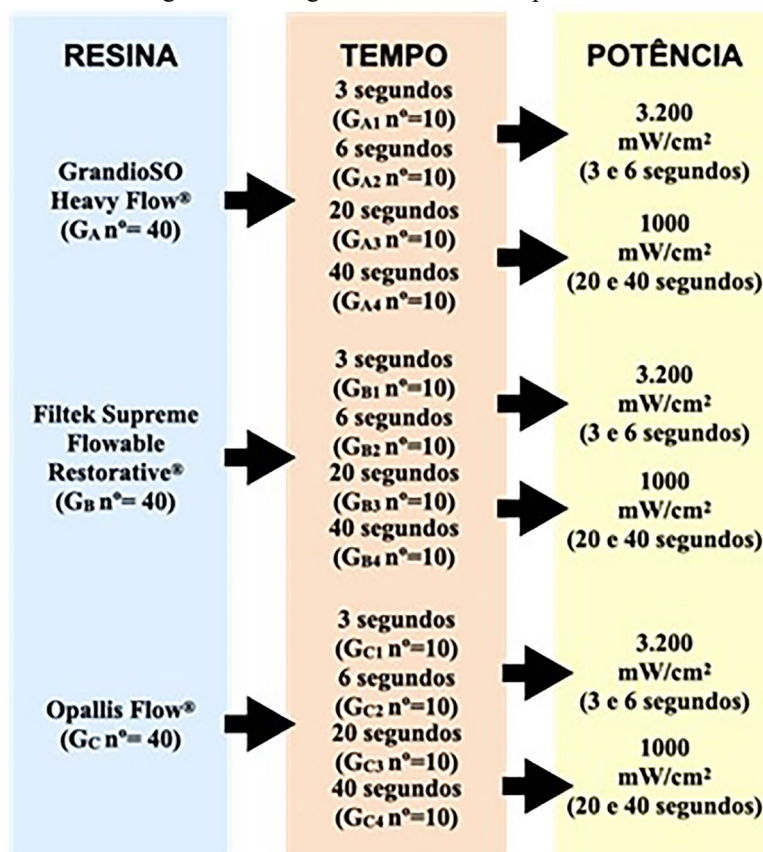
As características dos compósitos resinosos estão detalhadas na Tabela 1.

Amostra

A distribuição da amostra foi realizada de acordo com o compósito resinoso utilizado para a

confeção do attachment, tempo de polimerização e potência do fotopolimerizador (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma do desenho experimental.



Fonte:Fonte: Simão (2026).

Dessa forma, foram divididos em três grandes grupos: o grupo A (G_A, n = 40) confeccionado pela resina GrandioSO Heavy Flow® (VOCO); o grupo B (G_B, n = 40) com a resina Filtek Supreme Flowable Restorative® (3M), e o grupo C (G_C, n = 40) com a resina Opallis Flow® (FGM), totalizando 120 amostras. Cada grupo foi subdividido em quatro subgrupos (n = 10) de acordo com o tempo de polimerização e potência do fotopolimerizador. Os subgrupos 1 e 2 foram polimerizados com o aparelho fotopolimerizador de luz LED de alta potência com intensidade de luz de 3200 mW/cm² no modo potência xtra power (VALO Ortho®, Ultradent, South Jordan, Utah, EUA) por 3 segundos e 6 segundos, respectivamente. Os demais subgrupos, 3 e 4, foram polimerizados em baixa potência, com o mesmo aparelho, com intensidade de luz de 1000 mW/cm² no modo potência *standard*, sendo o grupo 3 pelo tempo de 20 segundos e o grupo 4 por 40 segundos.

Tabela 1: Características dos compósitos resinosos utilizados no estudo.

Material/Lote	Fabricante	Tempo/ irradiância (mínimo)	Composição Básica
Resina GrandioSO®	VOCO		BisGMA, BisEMA, TEGDMA, HDDMA, Canforoquinona, BHT.
Heavy Flow	(Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil)	20 s / 500 mW/cm ²	
Lote 2149668			Carga inorgânica: 83% em peso e 68% em volume (nanopartículas de dióxido de silicato combinadas com vitrocerâmicas).
Resina Supreme			BisGMA, TEGDMA, BisEMA, Procrilato.
Flowable Restorative®	3M		
Lote NE146611	(Sumaré, São Paulo, Brasil)	20 s / 400 mW/cm ²	Carga inorgânica: 65% em peso e 46% em volume (micropartículas de trifluoreto de itérbio e nanopartículas não-aglomeradas de sílica, nanopartículas não-aglomeradas de zircônia e nanoaglomerados de sílica e zircônia).
Resina Opallis Flow®	FGM	40 s /	BisGMA, BisEMA, TEGDMA, Canforoquinona
Lote 250821	(Joinville, Paraná, Brasil)	450 mW/cm ²	Coincidores, conservantes e pigmentos.
			Carga inorgânica 72% em peso e 53% em volume (micropartículas de bário-alumínio-silicato e nanopartículas de dióxido de silício).

BisGMA: Bisfenol A-glicidil metacrilado; BisEMA: Bisfenol A-diglicil metacrilato etoxilado; TEGDMA: trietilenoglicol-dimetacrilato; HDDMA: Dimetacrilato de 1,6-hexanodiol; BHT: Butil hidroxitolueno.

Fonte: Simão (2026).

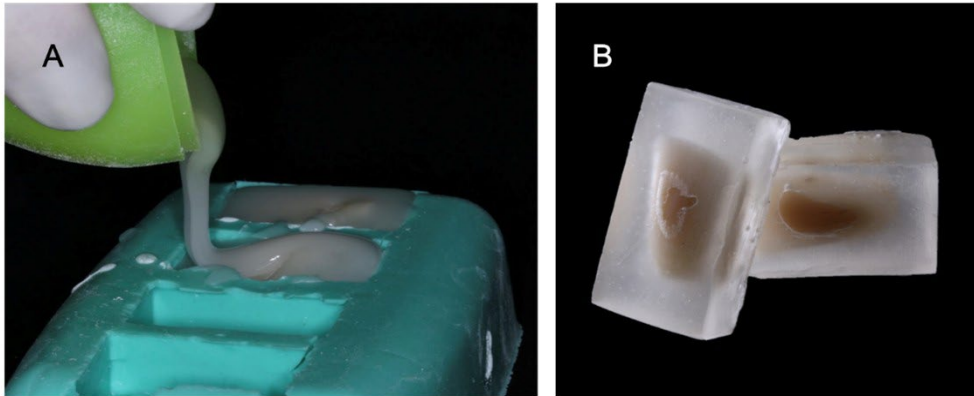
Resistência ao cisalhamento

O esmalte dentário utilizado para colagem dos *attachments* foi composto por incisivos inferiores bovinos com coroas visualmente intactas, sem trincas ou fraturas. O tecido mole foi removido com o auxílio de curetas periodontais e as raízes foram seccionadas ao nível da junção amelocementária com o auxílio de um disco diamantado dupla face (Microdont, São Paulo, São Paulo, Brasil) montado em um micromotor e peça reta (NKS, Joinville, Santa Catarina, Brasil), sendo todas as raízes descartadas. As coroas foram armazenadas em água destilada a 4° C até que as amostras fossem preparadas.

Para adaptação dos corpos de prova na máquina de ensaios universal e padronização durante o

teste de cisalhamento, os dentes foram incluídos de maneira centralizada em blocos de resina acrílica quimicamente ativada incolor (Dencrilon® líquido e Dencrilon® pó, Dencril, Pirassununga, São Paulo, Brasil) usando um molde retangular pré-confeccionado de silicone industrial (Silicone Master®, Talmax, Curitiba, Paraná, Brasil) permitindo que a superfície mais plana da face vestibular das coroas das amostras toque a base do molde evitando que fossem cobertas pela resina (Figura 2).

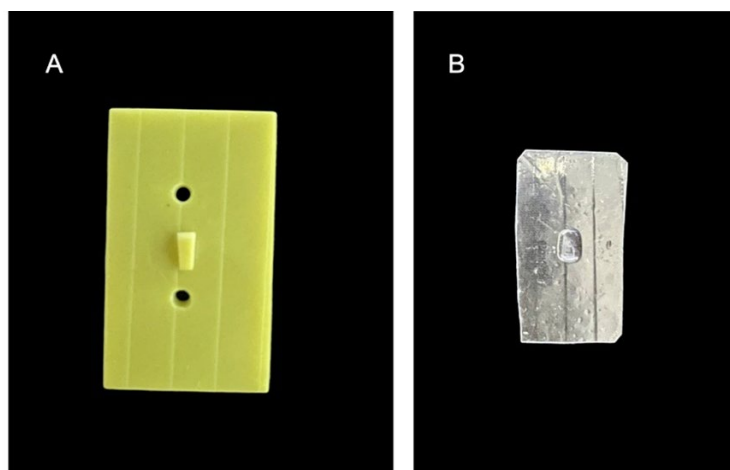
Figura 2: Inclusão dos dentes bovinos em blocos de resina acrílica. A) Inserção da resina acrílica com a superfície mais plana voltada para baixo no molde de silicone. B) Blocos prontos com a superfície mais plana livre de resina acrílica.



Fonte: Simão (2026).

As superfícies de todos os corpos de prova foram minimamente planificadas de acordo com o protocolo ISO/TS 11405 com lixas d'água de granulações progressivas (#200, 400 e 600), sob irrigação, durante 10 segundos por lixa, na politriz/lixadeira metalográfica Aropol VV. Um corpo de prova foi escaneado digitalmente pelo scanner iTERO (Invisalign, San Jose, Califórnia, EUA) e o arquivo gerado, do tipo .stl, foi transferido para o software ArchForm® (San Jose, Califórnia, EUA) onde foi realizado o planejamento do attachment retangular (3 mm de comprimento, 1,5 mm de largura e 1 mm de altura) na superfície do esmalte exposto. Posteriormente, procedeu-se a impressão 3D do corpo de prova com o attachment posicionado (Figura 3A), o qual foi utilizado para confecção dos *templates* em uma placa de acetato (Orthometric, Marília, São Paulo, Brasil) com espessura de 0,5 mm, compatível com a largura de todos os corpos de prova (Figura 3B).

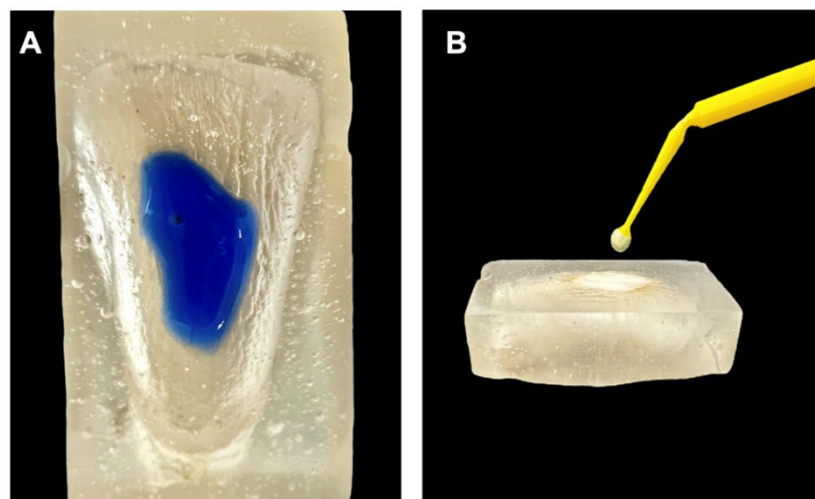
Figura 3: A) Corpo de prova impresso em 3D. B) Template recortado em placa de acetato com nicho ao centro.



Fonte: Simão (2026).

Para instalação dos *attachments*, isolaram-se os *templates* com Cel Lac (SS White, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil) por no mínimo 20 minutos antes de cada procedimento com auxílio de um pincel, sem excessos e secagem natural. Realizou-se a profilaxia do esmalte com pedra pomes e escova de Robinson por 3 segundos, lavagem com jato de água por 5 segundos e secagem por 20 segundos. O protocolo para condicionamento foi realizado com ácido ortofosfórico a 35% Ultra-Etch™ (Ultradent, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) por 20 segundos (Figura 4A), lavagem com jato de água por 20 segundos e secagem da superfície com jato de ar por 30 segundos, até obter uma superfície devidamente seca com aspecto branco opaco. O adesivo Adper™ Single Bond 2 (3M ESPE, St. Paul, Minnesota, EUA) foi aplicado com auxílio de um microbrush (Figura 4B), seguida por um leve jato de ar por 5 segundos a uma distância aproximada de 20 cm e polimerização durante 3 segundos com o aparelho fotopolimerizador de luz LED com potência de 3200 mW/cm².

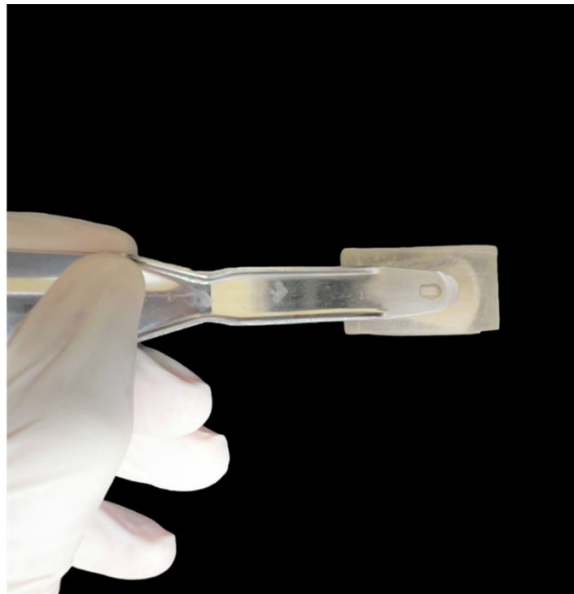
Figura 4: A) Condicionamento da superfície vestibular exposta. B) Aplicação do sistema adesivo.



Fonte: Simão (2026).

As resinas foram inseridas no nicho do *template* correspondente aos *attachments* até seu preenchimento completo sem excessos, de forma lenta e cuidadosa com auxílio das ponteiros dos respectivos fabricantes dos compósitos, evitando a formação de bolhas. O posicionamento do *template* foi definido pelo planejamento virtual e replicado nos corpos de prova com leve pressão manual aplicada com auxílio de dispositivo modificado pelos autores, o qual também permitia a fotoativação do compósito através do orifício que se adaptava ao formato do attachment (Figura 5), seguido de inspeção visual certificando-se de que a resina ficou totalmente em contato com as superfícies de esmalte.

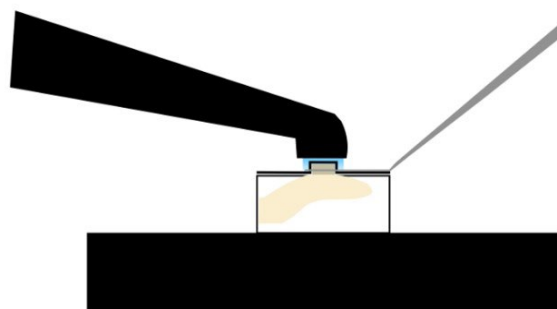
Figura 5: Aplicação de pressão manual sobre o template do attachment.



Fonte: Simão (2026).

Procedeu-se com a polimerização no centro do *template* (Figura 6) na potência correspondente ao grupo, conforme Figura 1. Imediatamente, após o protocolo de polimerização, realizou-se a remoção do *template* para verificação de eventuais falhas/bolhas, que sendo identificadas, resultaram na exclusão da amostra do estudo e substituição da amostra. Os excessos de resina foram removidos com auxílio de uma cureta do tipo unha de gato e lâmina de bisturi n.º 12. Caso algum excesso ainda permanecesse, era utilizada uma broca multilaminada de 12 lâminas com auxílio da caneta de alta rotação. As amostras não foram submetidas a protocolos de envelhecimento.

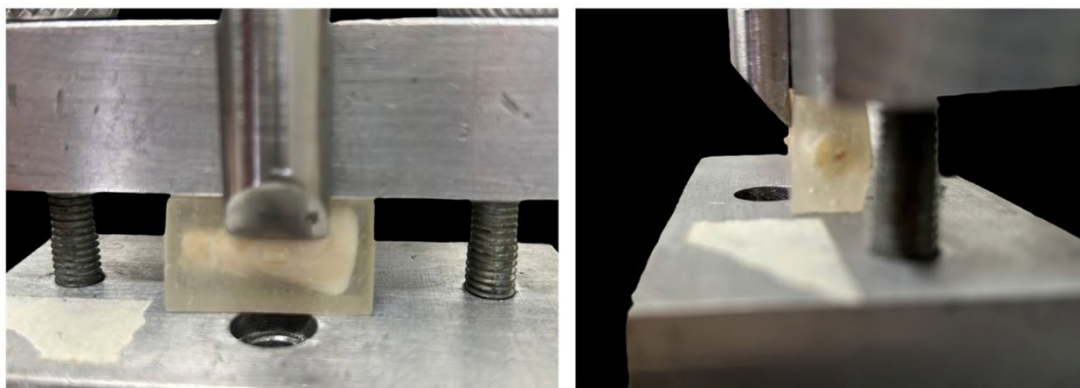
Figura 6: Esquema de polimerização da resina sob template.



Fonte: Simão (2026).

Os corpos de prova foram estabilizados por meio de dispositivos metálicos (Figura 7), seguido do teste de resistência ao cisalhamento realizado em uma máquina universal de ensaios Oswaldo Filizola (Oswaldo Filizola, São Paulo, Brasil), modelo AME5k, utilizando célula de carga de 5 kN, com uma lâmina acoplada à célula de carga e programada a uma velocidade de 1 mm/min até ocorrer a fratura do attachment.

Figura 7: Corpo de prova estabilizado para ensaio de cisalhamento.



Fonte: Simão (2026).

A unidade de medida da força foi gerada em Newton (N) e convertida para Megapascal (MPa), seguindo a fórmula abaixo, na qual A representa a área do attachment:

$$R \text{ (MPa)} = \frac{\text{"F (N)"}{\text{"A (mm}^2\text{)}}$$

Análise estatística

Os dados obtidos no ensaio de cisalhamento foram organizados, tabulados e analisados no software Jamovi® (Jamovi Stats Open Now, Sidney, Austrália). A distribuição da normalidade e da variância dos dados foi verificada por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. A avaliação da resistência ao cisalhamento foi feita considerando os critérios “resina” e “tempo de polimerização”, conduzida pela análise de variância (ANOVA) a 2 fatores. O teste de Tukey foi utilizado para encontrar as possíveis diferenças entre os resultados de resistência ao cisalhamento de acordo com os fatores estudados. O teste de variância (ANOVA) a 1 critério também foi utilizado em cada grupo de resina para verificar o comportamento do tempo de polimerização em cada grupo. Em todos os testes utilizados, o nível de confiança foi de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores “resina” ($p < 0,001$) e “tempo de polimerização” ($p = 0,006$) apresentaram diferenças estatisticamente significativas, ou seja, o tipo de resina e o tempo de polimerização afetaram a resistência ao cisalhamento do attachment ao esmalte. Contudo, a interação entre esses fatores não apresentou diferença significativa ($p = 0,362$), indicando que comportamento semelhante foi observado entre as resinas quando analisamos os subgrupos (Tabela 2).

Tabela 2: ANOVA 2 - fatores para “resina”, “tempo de polimerização” e interação “resina x tempo de polimerização” em relação à resistência ao cisalhamento.

Variáveis	SQ	GL	MQ	F	p
Resina	3939	2	1970	16,26	<0,001*
Tempo de polimerização	1603	3	534	4,41	0,006*
Resina x Tempo de polimerização	806	6	134	1,11	0,362

*Significância estatística ($p < 0,05$). SQ: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; MQ: Média dos quadrados; F: Valor de F.

Fonte: Simão (2026).

A Tabela 3 e a Figura 7 mostram a média e o desvio padrão em relação aos compósitos resinosos, sem levar em consideração o tempo de polimerização. O teste estatístico demonstrou que as resinas GrandioSO Heavy Flow® (29,2 MPa^a) e Opallis Flow® (34,4 MPa^a) apresentaram comportamento semelhante entre si, sem diferença estatística. A resina Supreme Flowable Restorative® (43 MPa^b) difere das demais, obtendo maior valor médio de resistência ao cisalhamento, apresentando diferença estatística em relação às demais.

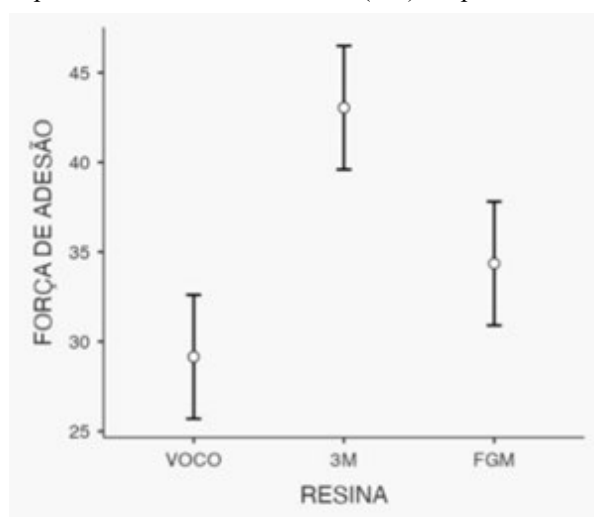
Tabela 3: Média e desvio padrão da resistência ao cisalhamento para o fator “Resina” em MPa.

Resina	Média	DP	p
VOCO - GrandioSO Heavy Flow®	29,2 ^a	11,1	
3M - Supreme Flowable Restorative®	43,0 ^b	11,6	<0,001
FGM - Opallis Flow®	34,4 ^a	11,8	

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. DP: Desvio padrão.

Fonte: Simão (2026).

Figura 8: Valores de resistência ao cisalhamento e desvio padrão de acordo com fator “resina” (GrandioSO Heavy Flow® (VOCO), Filtek Supreme Flowable Restorative® (3M) e Opallis Flow® (FGM)).



Fonte: Simão (2026).

As amostras submetidas ao protocolo de polimerização com 40 segundos alcançaram valor médio de resistência ao cisalhamento (40,9 MPa) significativamente maior quando comparado ao grupo submetido a 3 segundos de exposição (31,2 MPa). Já os grupos de tempo de 6 segundos e 20 segundos não mostraram diferença estatística entre si, como observamos na Tabela 4 e na Figura 8.

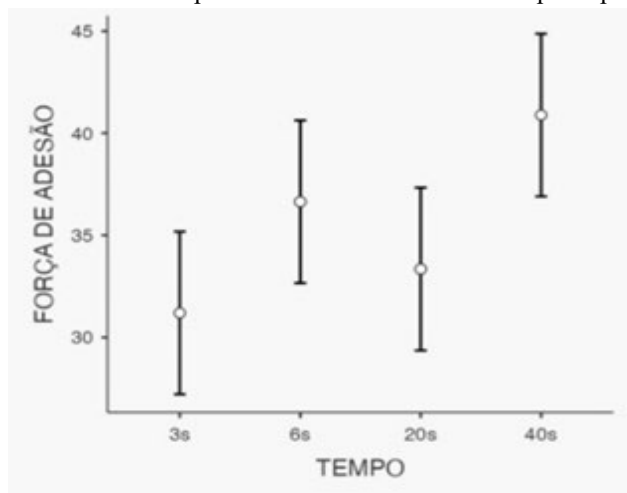
Tabela 4: Média e desvio padrão da resistência ao cisalhamento para o fator “tempo de polimerização” em MPa.

Tempo	Média	DP	p
3s	31,2 ^a	12,5	
6s	36,6 ^{ab}	12,9	.006
20s	33,3 ^{ab}	10,9	
40s	40,9 ^b	13,1	

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. DP: Desvio padrão.

Fonte: Simão (2026).

Figura 9: Valores de resistência ao cisalhamento e desvio padrão de acordo com fator “tempo de polimerização” (3s, 6s, 20s e 40s).



Fonte: Simão (2026).

A interação “resina x tempo de polimerização” não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos, como apresentado na Tabela 2 (p=0,362). Assim sendo, como observado na Tabela 5 e Figura 9, o comportamento da resistência ao cisalhamento do attachment ao esmalte apresenta comportamento similar nos três grupos avaliados em relação aos tempos de polimerização. Entre todos os grupos experimentais, os resultados de resistência ao cisalhamento (MPa) variaram de 11,2 a 65,6 MPa, onde o menor valor foi registrado no grupo da resina GrandioSO Heavy Flow® a 6 segundos (11,2 MPa) e o maior valor para o grupo Opallis Flow® a 40 segundos (65,6 MPa).

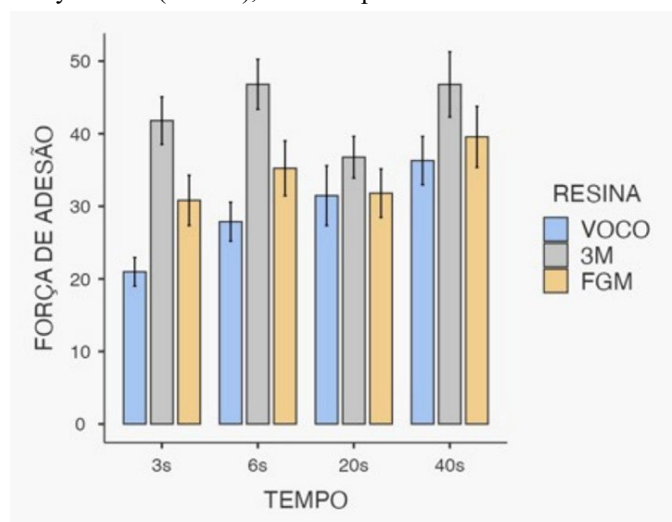
Tabela 5: ANOVA oneway para cada grupo (resina) e seus subgrupos (tempo de polimerização).

Resina	Tempo	n	Média	DP	IC (95%)		P
					Mínimo	Máximo	
GrandioSO Heavy Flow®	3s	10	21,0 a	6,22	13,1	34,1	,011
	6s	10	27,9 ab	8,48	11,2	37,3	
	20s	10	31,5 ab	13,02	19,8	57,9	
	40s	10	36,3 b	10,55	23,1	57,0	
Supreme Flowable Restorative®	3s	10	41,8	10,35	25,9	55,9	,163
	6s	10	46,8	10,91	29,7	59,6	
	20s	10	36,8	9,07	23,4	55,4	
	40s	10	46,8	14,19	26,1	64,3	
Opallis Flow®	3s	10	30,8	10,9	14,7	55,7	,348
	6s	10	35,2	12,0	14,0	56,7	
	20s	10	31,8	10,6	17,3	50,7	
	40s	10	39,6	13,3	23,3	65,6	

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. n: número amostral; DP: Desvio padrão; IC: Intervalo de confiança.

Fonte: Simão (2026).

Figura 10: Valores de resistência ao cisalhamento e desvio padrão, de acordo com “resina” e “tempo de polimerização”. Resinas GrandioSO Heavy Flow® (VOCO), Filtek Supreme Flowable Restorative® (3M) e Opallis Flow® (FGM).



Fonte: Simão (2026).

Uma vez que houve diferença estatística nos resultados em relação ao fator “resina” e “tempo de polimerização” em relação à resistência de cisalhamento, a hipótese nula foi rejeitada. Foi observado que o tipo de resina e o tempo de polimerização afetam significativamente a força de cisalhamento do attachment ao esmalte dentário.

As resinas compostas possuem duas porções em sua composição básica: a matriz orgânica formada principalmente por monômeros resinosos e a matriz inorgânica composta principalmente pelas partículas de carga que influenciam no processo de polimerização da resina (SIDEROU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002).

Diferentes fatores, como: cinética de polimerização, mobilidade das moléculas monoméricas, combinações de monômeros, quantidade, forma e tamanho das partículas de carga, entre outros fatores, podem influenciar o processo de polimerização e causar alterações nas propriedades físicas e estéticas das resinas (SIDEROU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002; ILIE; HICKEL, 2011).

Os resultados do trabalho demonstraram que a resina Supreme Flowable Restorative® apresentou resistência ao cisalhamento superior (43 MPa) às resinas Opallis Flow® (34,4 MPa) e GrandioSO Heavy Flow® (29,2 MPa). Segundo os fabricantes das resinas estudadas, a resina Supreme Flowable Restorative® é uma nanoparticulada e possui 46% de partículas de carga em volume; a resina GrandioSO Heavy Flow® é nanohíbrida e possui 68% em volume de partículas de carga; e a resina Opallis Flow® é classificada como micro-híbrida com 53% de partículas de carga em volume. Os clínicos aconselham o uso de resinas para colagem de *attachments* com alta concentração de partículas de carga sugerindo que estas fornecem maior resistência mecânica e desgaste superficial. Contudo, os resultados do estudo demonstraram que a resina com menor percentual de partículas inorgânicas apresentou as maiores taxas de resistência ao cisalhamento. Um ponto que pode justificar os resultados obtidos é que as resinas nanoparticuladas (Supreme Flowable Restorative®) possuem ampla distribuição das partículas de carga nanométricas, garantindo ótimas propriedades físicas (GAGLIANONE et al., 2012). É importante observar que as empresas utilizam diferentes tecnologias e patentes em seus produtos. A exemplo, a resina Supreme Flowable Restorative®, da fabricante 3M, utiliza partículas nanométricas organizadas em nanoclusters de maneira a maximizar

suas propriedades. A interação entre duas nanopartículas é muito forte devido à sua área de superfície ser relativamente grande, e as forças de Van der Waals as tornam propensas a se aglomerarem (BASTOS et al., 2020).

Autores demonstraram que a adequada polimerização de uma massa de um compósito resinoso depende de diversos fatores, sendo que entre as variáveis citadas, duas muito importantes para uma polimerização adequada, são: a irradiância (mW/cm^2) emitida pelo aparelho fotopolimerizador e o tempo pelo qual a resina fica exposta a essa energia (tempo de polimerização). O processo de polimerização depende da absorção de energia pela resina para que aconteça quebra das moléculas do iniciador e conseqüentemente quebra da ligação dupla ($\text{C}=\text{C}$) entre os monômeros para que haja continuidade no processo de polimerização (HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002; SILVA et al., 2008; BEOLCHI et al., 2015). Em relação ao tempo de polimerização, os resultados demonstraram que houve diferença estatisticamente significativa entre os tempos de 3 segundos (31,2 MPa) e 40 segundos (40,9 MPa), demonstrando que o tempo de polimerização influenciou na resistência ao cisalhamento do attachment ao esmalte. Isto sugere que a polimerização parece ser mais adequada quando realizada por mais tempo e com potência menor.

Diferentes estudos utilizaram o valor de $16 \text{ J}/\text{cm}^2$ ($16000 \text{ mW}/\text{cm}^2$) como a dose necessária para polimerizar adequadamente um incremento de resina de 2 mm de altura (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; GRITSCH et al., 2008). O attachment utilizado para o ensaio de cisalhamento, neste estudo, possuía 1 mm de altura. De maneira geral, é possível calcular a dose de energia emitida multiplicando a irradiância emitida pelo tempo de exposição (BEOLCHI et al., 2015; EMAMI; SODERHOLM, 2003). As amostras divididas em subgrupos (Figura 1) foram expostas a 3 e 6 segundos com irradiância de $3200 \text{ mW}/\text{cm}^2$ e a 20 e 40 segundos com irradiância de $1000 \text{ mW}/\text{cm}^2$, resultando em $9,6 \text{ J}/\text{cm}^2$, $19,2 \text{ J}/\text{cm}^2$, $20 \text{ J}/\text{cm}^2$ e $40 \text{ J}/\text{cm}^2$, respectivamente. Os resultados mostraram uma tendência de crescimento de resistência à medida em que se aumenta o tempo de exposição, mesmo diminuindo a potência do aparelho. Observa-se esta diferença significativamente quando se comparam os grupos de 3 e 40 segundos, tendo o último recebido, teoricamente, quase 4 vezes mais energia que o primeiro. Alguns autores (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005) estudaram o grau de conversão dos monômeros e propriedades mecânicas, comparando amostras de uma resina composta submetida a três densidades energéticas distintas ($4 \text{ J}/\text{cm}^2$, $8 \text{ J}/\text{cm}^2$ e $16 \text{ J}/\text{cm}^2$). Foi observado que o grau de conversão e as propriedades mecânicas aumentaram à medida que a densidade energética aplicada era maior. Tais achados corroboram outros estudos da literatura (HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002; EMAMI; SÖDERHOLM, 2003).

Apesar dos estudos citados anteriormente apontarem o tempo de polimerização como um dos fatores determinantes para adequada conversão monomérica, ao comparar os grupos de 6 e 20 segundos, os quais receberam praticamente a mesma quantidade de energia em tempos diferentes, nota-se que não houve diferença estatística nos resultados entre esses grupos, sendo o tempo de 6 segundos estatisticamente semelhante ao de 3 segundos, e o tempo de polimerização de 20 segundos semelhante estatisticamente à polimerização por 40 segundos.

Outro ponto extremamente importante é que apesar dos resultados apresentarem influência do fator “resina” e “tempo de polimerização” na força de cisalhamento do attachment, um estudo clássico demonstrou que a força de adesão adequada para colagem de bráquetes ortodônticos no tratamento corretivo convencional é em torno de 5,9 a 7,8 MPa (REYNOLDS, 1975). Contudo, em um trabalho recente, avaliando a literatura pertinente sobre o assunto, os valores médios de adesão de bráquetes ao esmalte dentário têm

sido em torno de 14,05 MPa com desvio padrão de $\pm 6,52$ MPa (intervalo de 7,53 a 20,57 MPa) (CRUZ et al., 2021). Assim sendo, os valores apresentados no presente estudo estão acima dos valores médios de adesão dos bráquetes encontrados na literatura com diferentes protocolos de preparo de superfície, sistema adesivo, resina composta, tipo de bráquetes, tempo e potência de polimerização, entre outros. Portanto, clinicamente todas as resinas utilizadas no estudo, assim como os tempos de polimerização aplicados são capazes de gerar força de adesão inicial suficiente dos *attachments* durante a terapia com os alinhadores ortodônticos. Contudo, novos estudos são necessários para avaliar a estabilidade destes dispositivos em relação à interface adesiva e ao desgaste superficial a longo prazo com o protocolo estudado.

CONCLUSÃO

Dos compósitos e das condições deste experimento, pode-se concluir que:

- A resina Supreme Flowable Restorative® apresentou maior força de cisalhamento dos *attachments* ao esmalte;
- O aumento do tempo de polimerização (40 s), mesmo com redução da potência do aparelho fotopolimerizador (1000 mW/cm²), aumentou a força de cisalhamento dos *attachments* ao esmalte.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- BARREDA, G. J.; DZIEREWIANKO, E. A.; MUÑOZ, K. A.; PICCOLI, G. I. Surface wear of resin composites used for Invisalign® attachments. *Acta Odontol Latinoam*, v. 30, n. 2, p. 90-95, 2017.
- BASTOS, N. A.; BITENCOURT, S. B.; MARTINS, E. A.; DE SOUZA, G. M. Review of nanotechnology applications in resin-based restorative materials. *J Esthet Restor Dent*, v. 33, n. 4, p. 567-582, 2020. DOI: 10.1111/jerd.12699.
- BEOLCHI, R. S.; MOURA-NETTO, C.; PALO, R. M.; TORRES, C. R. G.; PELISSIER, B. Changes in irradiance and energy density in relation to different curing distances. *Braz Oral Res*, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0034.
- CHEN, W.; QIAN, L.; QIAN, Y.; ZHANG, Z.; WEN, X. Comparative study of three composite materials in bonding attachments for clear aligners. *Orthod Craniofac Res*, 2021. DOI: 10.1111/ocr.12465.
- CRUZ, I. D. S.; TOMAZ, A. F. G.; MORENO, M. C.; ARAÚJO, R. M.; ALVES, A. C. M.; PEREIRA, H. S. G. et al. Clinically acceptable values of shear bond strength of orthodontic brackets bonded on enamel: An integrative review. *Res Soc Dev*, v. 10, n. 4, p. e11110413927, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13927.
- DA SILVA, E. M.; POSKUS, L. T.; GUIMARÃES, J. G. A.; DE ARAÚJO LIMA BARCELLOS, A.; FELLOWS, C. E. Influence of light polymerization modes on degree of conversion and crosslink density of dental composites. *J Mater Sci Mater Med*, v. 19, n. 3, p. 1027-1032, 2008. DOI: 10.1007/s10856-007-3220-5.
- EMAMI, N.; SÖDERHOLM, K. J. M. How light irradiance and curing time affect monomer conversion

in light-cured resin composites. **Eur J Oral Sci**, v. 111, n. 6, p. 536-542, 2003. DOI: 10.1111/j.0909-8836.2003.00082.x.

GAGLIANONE, L. A.; LIMA, A. F.; ARAÚJO, L. S. N.; CAVALCANTI, A. N.; MARCHI, G. M. Influence of different shades and LED irradiance on the degree of conversion of composite resins. **Braz Oral Res**, v. 26, n. 2, p. 165-169, 2012. DOI: 10.1590/S1806-83242012005000002.

GUEDES, F. P.; FERRONATO, E.; MARTINS, R. P. Protocolo clínico para instalação de attachments em casos tratados com alinhadores ortodônticos – descrição da técnica. **Orthod Sci Pract**, v. 12, n. 48, p. 102-112, 2019. DOI: 10.24077/2019;1248-102112.

GRITSCH, K.; SOUVANNASOT, S.; SCHEMBRI, C.; FARGE, P.; GROSGOGEAT, B. Influence of light energy and power density on the microhardness of two nanohybrid composites. **Eur J Oral Sci**, v. 116, n. 1, p. 77-82, 2008. DOI: 10.1111/j.1600-0722.2007.00506.x.

HALVORSON, R. H.; ERICKSON, R. L.; DAVIDSON, C. L. Energy dependent polymerization of resin-based composite. **Dent Mater**, v. 18, n. 6, p. 463-469, 2002. DOI: 10.1016/s0109-5641(01)00069-0.

ILIE, N.; HICKEL, R. Resin composite restorative materials. **Aust Dent J**, v. 56, p. 59-66, 2011. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/TS 11405: Dentistry – Testing of adhesion to tooth structure. Geneva: ISO, 2015. 12 p.

MOMTAZ, P. The effect of attachment placement and location on rotational control of conical teeth using clear aligner therapy. 2016. Dissertação (Mestrado) – University of Nevada, Las Vegas, 2016.

PEUTZFELDT, A.; ASMUSSEN, E. Resin composite properties and energy density of light cure. **J Dent Res**, v. 84, n. 7, p. 659-662, 2005. DOI: 10.1177/154405910508400715.

REYNOLDS, I. R. A review of direct orthodontic bonding. **Br J Orthod**, v. 2, n. 3, p. 171-178, 1975. DOI: 10.1080/0301228X.1975.11743666

SIDERIDOU, I.; TSERKI, V.; PAPANASTASIOU, G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. **Biomaterials**, v. 23, n. 8, p. 1819-1829, 2002. DOI: 10.1016/s0142-9612(01)00308-8.