



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS- UniEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

PATRÍCIA LICÉLIA DA MOTA SIQUEIRA

**EFEITO DA ATIVAÇÃO ULTRASSÔNICA EM DIFERENTES
TÉCNICAS DE CIMENTAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DO
PINO DE FIBRA DE VIDRO À DENTINA RADICULAR**

Anápolis, 2026

PATRÍCIA LICÉLIA DA MOTA SIQUEIRA

**EFEITO DA ATIVAÇÃO ULTRASSÔNICA EM DIFERENTES
TÉCNICAS DE CIMENTAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DO
PINO DE FIBRA DE VIDRO À DENTINA RADICULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-graduação em Odontologia, Área de Concentração: Clínica Odontológica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Priscilla Cardoso Lazari-Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

Anápolis, 2026

S618

Siqueira, Patrícia Licélia da Mota.

Efeito da ativação ultrassônica em diferentes técnicas de cimentação na resistência de união do pino de fibra de vidro à dentina radicular / Patrícia Licélia da Mota Siqueira - Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2026.

47 p.; il.

Orientadora: Profa. Dra. Priscilla Cardoso Lazari-Carvalho.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho.

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Odontologia – Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2026.

1. Pino de fibra 2. Cimentos de resina 3. Ultrassom 4. Resistência ao cisalhamento
I. Lazari-Carvalho, Priscilla Cardoso II. Carvalho, Marco Aurélio de III. Título.

CDU 616.314

Catálogo na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**EFEITO DA ATIVAÇÃO ULTRASSÔNICA EM DIFERENTES TÉCNICAS DE CIMENTAÇÃO NA
RESISTÊNCIA DE UNIÃO DO PINO DE FIBRA DE VIDRO À DENTINA RADICULAR
PATRÍCIA LICÉLIA DA MOTA SIQUEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -
graduação em Odontologia da Universidade Evangélica
de Goiás como requisito parcial à obtenção do grau de
MESTRE.

APROVADO EM 15 DE ABRIL DE 2026.

**LINHA DE PESQUISA: Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação
Clínica e Laboratorial em Odontologia**

BANCA EXAMINADORA*

O Dra. Priscilla Cardoso Lazari Carvalho
EI Dr. Helder Fernandes de Oliveira
EE Dr. Rogério Vieira Reges

Priscilla Lazari Carvalho
Helder Fernandes de Oliveira
Rogério Vieira Reges

O: Orientador(Presidente); EI: Examinador Interno; EE: Examinador Externo

 REQUESTED	TITLE	Folha de aprovação - Patrícia Licélia da Mota
	FILE NAME	Folha de aprovação - Patrícia Licélia_695563.pdf
	REQUEST ID	signature_request_ad000717-de5e-4f9b-831f-
	REQUESTED BY	Michelle Rosa Assunção Borges
	STATUS	

Completed

Priscilla Cardoso Lazari Carvalho (lazari.pcl@gmail.com)

 SENDED	15/04/2026 17:40:43UTC±0	 SIGNED	15/04/2026 20:08:33UTC±0 152.19.203.131
---	-----------------------------	---	---

Helder Fernandes de Oliveira (helfo22@gmail.com)

 SENDED	15/04/2026 20:08:33UTC±0	 SIGNED	15/04/2026 20:11:24UTC±0 177.98.44.162
---	-----------------------------	---	--

Rogério Vieira Reges (vieirareges@yahoo.com.br)

 SENDED	15/04/2026 20:11:24UTC±0	 SIGNED	15/04/2026 21:15:09UTC±0 200.18.170.171
---	-----------------------------	---	---

 COMPLETED	15/04/2026 21:15:09 UTC±0 O documento foi concluído.
--	--



Para obter e validar o documento em versão digital, faça a leitura do código ao lado ou utilize o link abaixo:

<https://aee.portalassinatura.abaris.com.br/sign/download/e9%2fQIYqMr0WGHeVS3S18ab>

FofpH8d0n5eNTX1O%2fXso4NNDAT365RjE66x8TNn7QPCYdGly%2bboTsLvaMvxoLx8kxWmGMT6dQ9qd
8p1YhDyZGse04IWImZSmKDzKa%2bbK1J

DEDICATÓRIA

A minha mãe, pelo exemplo de amor e educação.

Ao Wélcio, pelo incentivo recebido em cada sorriso e em cada abraço.

Aos meus irmãos, pelo apoio constante.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas realizações diárias, por iluminar meu caminho e me dar forças e saúde para seguir em frente, pela Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir e me fez prosseguir sempre.

À minha professora orientadora Profa. Dra. Priscilla Cardoso Lazari-Carvalho, pela orientação e pela confiança depositadas em mim. Pelo apoio e capacidade de compartilhar os ensinamentos de forma leve e paciente. Muito obrigada por tudo!

Ao meu professor coorientador, Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho, pela sua disponibilidade e transmissão de conhecimentos. Suas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento dessa pesquisa e sou imensamente grata!

Aos professores do programa de pós-graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás, pelos conhecimentos e experiências compartilhados, e, em especial, ao professor Dr. Orlando Aguirre Guedes. Todas as ideias, sugestões, críticas e experiências, influenciaram o meu desenvolvimento de forma positiva

A professora Me. Naira Geovana Camilo e a todas as alunas de iniciação científica envolvidas nessa pesquisa.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás, em especial à Elize, coordenadora técnica de laboratório, pelo respeito que me conduziram até aqui.

A minha irmã Hislene Kássia da Mota. Obrigado pelo incentivo, pelo apoio e pelo carinho!

Ao meu namorado, Wélcio Lopes, pelo companheirismo e por incentivar em momentos de desafio.

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
REFERENCIAL TEÓRICO	15
<i>Propriedades mecânicas dos dentes tratados endodonticamente</i> .	15
<i>Cimento adesivo</i>	18
<i>Procedimentos durante o tratamento endodôntico</i>	19
<i>Fotoativação do cimento resinoso x resistência de união do pino à dentina radicular</i>	19
<i>Uso do ultrassom em dentes tratados endodonticamente</i> 20.....	20
OBJETIVO	23
OBJETIVO GERAL.....	23
OBJETIVO ESPECÍFICO	23
HIPÓTESE	24
MATERIAL E MÉTODOS	25
<i>Delineamento Experimental</i>	25
<i>Preparo das amostras</i> 26.....	26
<i>Preparo do conduto radicular</i>	27
<i>Cimentação do Pino de Fibra de Vidro</i>	27
<i>Obtenção das fatias (corpos de prova)</i>	29
<i>Teste de Micropush-out</i>	30
<i>Modo de Falha</i>	33
<i>Análise estatística</i>	34
RESULTADOS	34
<i>Resistência de União</i>	34
<i>Modos de Falha</i>	37
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

n	Tamanho da amostra
NiCr	Níquel-Cromo
μ S	Microsiemens
ANOVA	Análise de Variância ou Analysis of Variance
3D	Tridimensional
mm	Milímetro (unidade de comprimento, 1/1000 de um metro)
CAD/CAM	Sistema de projeto (CAD- Computer-Aided Desing) e Fabricação (CAM- Computer-Aided Manufacturing) assistidos por computador
N	Newton
micro-CT	Microtomografia Computadorizada
α	Nível de significância estatística
p	Probabilidade de significância
<	Menor
Ho	Hipótese nula
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
%	Porcentagem
PSB	Resistência de união por extrusão/ Micropush-out
μ -CT	Microtomografia computadorizada
EDTA:	Ácido etilenodiamino tetra-acético
NaOCl:	Hipoclorito de sódio
ml	Mililitro (unidade de volume, 1/1000 de um litro)
°C	Grau Celsius
rpm	Rotação por minuto
min	Minuto
MPa	Megapascal
mm ²	Milímetro quadrado

RESUMO

Objetivo: Analisar o efeito da ativação ultrassônica de um cimento resinoso na resistência de união micropush-out de pinos de fibra de vidro à dentina radicular e modo de falha. **Material e Método:** Foram utilizadas 40 raízes dentárias bovinas. O fator de estudo foi: 1. Tipo de manipulação e inserção do cimento (a: Cimento manipulado manualmente e inserido com lima endodôntica, b: Cimento manipulado manualmente e inserido com Centrix, c: Automix Convencional e d: Automix com Endotip). As variáveis resposta foram: Resistência de união à dentina radicular e modo de falha. Os pinos foram cimentados conforme o protocolo para cada tipo de manipulação e inserção no canal radicular. Os grupos que foram submetidos à agitação ultrassônica, após a inserção do pino dentro do canal radicular, foram ativados por 20 segundos, seguidos da fotopolimerização. Os dados foram analisados por meio de testes não paramétricos (Kruskal-Wallis e Dwass-Steel-Critchlow-Fligner) para comparações intergrupos, e Friedman seguido de Durbin-Conover para comparações intragrupo, com nível de significância de 5%. **Resultados:** No terço cervical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p = 0,524$). No terço médio, houve diferença significativa ($p = 0,006$), sendo que os grupos com sistemas automix (G3 e G4) apresentaram maiores valores de resistência de união em comparação ao grupo com inserção por lima endodôntica (G1), enquanto o grupo Centrix (G2) apresentou comportamento intermediário. No terço apical, não houve diferenças significativas entre os grupos ($p = 0,897$). A análise intragrupo demonstrou diferenças significativas entre os terços radiculares em todos os grupos, com maiores valores de resistência de união nos terços cervical e médio em comparação ao apical. A falha adesiva entre cimento e dentina foi o tipo mais frequente em todos os grupos de estudo. **Conclusão:** Os protocolos de inserção do cimento influenciam a resistência de união de forma dependente da região radicular, sendo os sistemas automix mais eficazes no terço médio. Entretanto, técnicas associadas à ativação ultrassônica apresentaram desempenho

semelhante nas demais regiões, configurando uma alternativa clinicamente viável.

PALAVRAS-CHAVE: Pino de fibra, cimentos de resina, ultrassom, resistência ao cisalhamento.

ABSTRACT

Objective: To analyze the effect of ultrasonic activation of a resin cement on the micro-push-out bond strength of fiber-reinforced posts to root dentin and on the mode of failure. **Material and Method:** Forty bovine dental roots were utilized. The study factor was: 1. Type of cement manipulation and insertion (a: Hand-mixed cement inserted with an endodontic file; b: Hand-mixed cement inserted with a Centrix syringe; c: Conventional Automix; and d: Automix with an Endotip). The response variables were Bond strength to root dentin and mode of failure. The posts were cemented according to the specific protocol for each type of manipulation and insertion into the root canal. In the groups subjected to ultrasonic activation, the device was engaged for 20 seconds after the post was inserted into the root canal, after which light-curing was performed. The data were analyzed using non-parametric tests (Kruskal-Wallis and Dwass-Steel-Critchlow-Fligner for intergroup comparisons, and Friedman followed by Durbin-Conover for intragroup comparisons), at a significance level of 5%. **Results:** In the cervical third, no statistically significant differences were observed among the groups ($p = 0.524$). In the middle third, a significant difference was observed ($p = 0.006$), with the groups utilizing automix systems (G3 and G4) exhibiting higher bond strength values compared to the group using endodontic file insertion (G1), while the Centrix group (G2) showed intermediate performance in the middle third. In the apical third, no significant differences were found among the groups ($p = 0.897$). Intragroup analysis revealed specific differences across the root thirds within all groups, with higher bond strength values recorded in the cervical and middle thirds compared to the apical third. **Conclusion:** That cement insertion protocols influence bond strength in a region-dependent manner, with automix systems proving most effective in the middle third. Nevertheless, techniques involving ultrasonic activation demonstrated comparable performance in many regions, constituting a clinically viable alternative.

KEYWORDS: Fiber post, resin cement, ultrasonic, shear strength.

INTRODUÇÃO

Os dentes tratados endodonticamente apresentam-se estruturalmente comprometidos por cárie, fratura e até mesmo perda de tecido durante o tratamento endodôntico (1). Essa perda estrutural provoca alterações em suas propriedades mecânicas, químicas e físicas (1). A utilização de irrigantes (como hipoclorito de sódio e ácido etilenodiaminotetracético) pode alterar as propriedades mecânicas da dentina, como a resistência à flexão e o módulo de elasticidade. Essas mudanças ocorrem principalmente devido à remoção da matriz de colágeno e dos componentes inorgânicos da dentina radicular durante o tratamento do canal radicular (1).

Devido a essa perda de estrutura coronária, para se realizar o tratamento restaurador, muitas vezes, é necessária a utilização de retentores intrarradiculares para promover a retenção da restauração (1). O pino de fibra de vidro é o tipo de retentor mais utilizado atualmente por apresentar propriedades físicas semelhantes às da dentina, como módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à flexão e coeficiente de expansão térmica, além de vantagens, como excelente estética e biocompatibilidade (2). Porém, a longevidade e o sucesso clínico deste tipo de tratamento dependem de fatores como seleção e formato do pino; comprimento e diâmetro do pino; qualidade da dentina remanescente (efeito da férula) e qualidade da adesão entre os materiais restauradores e as estruturas dentais (3).

Para a cimentação do pino de fibra de vidro, utilizam-se cimentos resinosos, por possuírem a capacidade de formar uma união efetiva com a dentina (1). Logo, os pinos de fibra de vidro são unidos às estruturas dentais por meio de sistemas adesivos e cimentos resinosos (1). Quando a ligação pino-cimento-dentina for estabelecida, forma-se um complexo mecanicamente homogêneo, que pode aumentar o sucesso do tratamento restaurador (4).

No entanto, a adesão dentro do conduto radicular é um desafio para o cirurgião-dentista, visto que algumas áreas estão fora do alcance dos micropincéis, gerando dificuldade de penetração do cimento resinoso nos túbulos dentinários e, conseqüentemente, acarretando formação de bolhas e

gerando menores valores de resistência de união (5). A dificuldade no controle da umidade e a dificultada polimerização também resultam em menor resistência de união entre o pino e a dentina radicular (5).

Os cimentos autoadesivos apresentam bons resultados em relação aos valores de resistência de união na cimentação dos pinos de fibra de vidro, principalmente quando comparados aos cimentos convencionais (4). No entanto, entre os cimentos autoadesivos, há diferentes formas de os inserir no canal radicular. Para garantir a homogeneidade do cimento resinoso, o modo de aplicação do cimento no canal radicular deve evitar a entrada de ar preso na camada de cimento. Sistemas de cimentos resinosos, chamados de “automix”, foram desenvolvidos para misturar automaticamente e fornecer uma mistura pasta-pasta sem bolhas (4). A automistura do cimento e o uso de uma ponta endodôntica podem apresentar uma melhor homogeneidade do material e aumentar a resistência de união com a dentina (6). No entanto, o custo do material é mais elevado do que o dos cimentos que não apresentam a automistura.

Uma das formas de melhorar a penetração e evitar bolhas nos cimentos resinosos pode ser o uso do ultrassom, uma vez que dispositivos ultrassônicos já têm sido utilizados na odontologia, pois a vibração a alta velocidade desses aparelhos produz ondas de pressão no sistema adesivo, empurrando esses materiais e permitindo seu melhor escoamento (7,8). A ativação ultrassônica também proporciona um melhor selamento endodôntico e aumenta a penetração do cimento endodôntico (5,9,10). Há pouca evidência científica que reporte os efeitos desses dispositivos sobre os cimentos resinosos durante a cimentação de pinos de fibra de vidro no interior do canal radicular, com o objetivo de aprimorar a resistência à adesão, bem como avaliem diferentes técnicas de inserção do cimento resinoso.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo *in vitro* será analisar o efeito da ativação ultrassônica de um cimento resinoso na resistência de união micropush-out e modo de falha de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.

REFERENCIAL TEÓRICO

Propriedades mecânicas dos dentes tratados endodonticamente

Silva e colaboradores (2011) realizaram um estudo *in vitro* com o objetivo de verificar a deformação radicular e a fratura de raízes alargadas e restauradas com diferentes sistemas restauradores. Cento e cinco raízes bovinas de tamanho e formato semelhantes foram selecionadas. Os dentes foram seccionados, separando as raízes das coroas. Logo após, realizou-se o preparo biomecânico e a obturação endodôntica. Posteriormente, as raízes foram divididas aleatoriamente em sete grupos (n=15) restaurados com técnicas e pinos diferentes. Dois grupos controles, que não tinham seus canais alargados. Os outros cinco grupos tiveram seus canais ampliados e enfraquecidos de modo uniforme. Em seguida, os grupos controle e enfraquecidos foram restaurados da seguinte forma: Grupo 1 (controle- Cpc) CCpc, núcleo em liga de NiCr fundido; Grupo 2 (controle- Gpf) CGfp, pino de fibra de vidro; Grupo 3 (alargado) FCpc, pino e núcleo fundidos em NiCr; Grupo 4 (alargado): FGfp, pino de fibra de vidro; Grupo 5 (alargado) FGfpAp, pino de fibra de vidro associado a pinos acessórios de fibra de vidro; Grupo 6 (alargado), FGfpRc, pino de fibra anatomizado com resina composta; Grupo 7 (alargado) FGfpRcAp, pino de fibra de vidro anatomizado com resina composta associado com pinos de fibra de vidro acessórios. Os dentes foram restaurados com coroas metálicas. A fadiga mecânica foi simulada com 3x10⁵/50 N ciclos. O teste foi realizado a 45 graus e a deformação (μS) obtida nas superfícies vestibular e proximal. Em seguida, a resistência à fratura (N) e o padrão de fratura foram verificados. Aplicou-se ANOVA e Teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Concluíram que não teve diferença na deformação. No entanto, as técnicas de reembasamento do pino com resina composta ou o uso de pinos acessórios parecem ser efetivos para melhorar o comportamento biomecânico de raízes fragilizadas. Tal fato é explicado devido à semelhança entre o módulo de elasticidade da dentina, pinos de fibra de vidro e resina composta (11).

Roscoe e colaboradores (2013) avaliaram o efeito da perda óssea, tipo de pino e presença de férula no comportamento biomecânico de caninos

superiores tratados endodonticamente através de um estudo *in vitro*. Selecionou-se 40 dentes caninos humanos, que foram divididos em 8 grupos experimentais (n=5) de acordo com 3 variações de tratamento: com ou sem perda óssea de 5,0 mm, com ou sem férula, e restaurados com pinos e núcleos fundidos ou pinos de fibra de vidro. Os caninos restaurados foram carregados a 15 graus e a deformação foi medida com extensômetros colocados nas superfícies radiculares vestibular e proximal. Os resultados das deformações foram analisados por análise de variância de 3 fatores (ANOVA) e testes Tukey HSD ($\alpha=0,05$). Para a análise de elementos finitos foram criados oito modelos 3D seguindo as mesmas variações da análise experimental. Os modelos foram analisados utilizando o critério de tensão principal máxima para análise de distribuição de tensão. Concluíram que a presença de férula melhorou o comportamento mecânico. Os 5,0 mm de perda óssea aumentaram significativamente a concentração de tensão e a deformação na dentina radicular (12).

Valdivina e colaboradores (2018) realizaram um estudo com objetivo de avaliar a biomecânica de incisivos tratados endodonticamente e restaurados com pino de fibra de vidro e coroa cerâmica de dissilicato de lítio CAD/CAM. Foram usados vinte incisivos bovinos, divididos em dois grupos (n = 10): grupo 1. Fe (com férula de 2 mm) e grupo 2. NFe (sem férula). Depois do tratamento endodôntico, os dentes foram restaurados com pino de fibra de vidro (Exacto 3, Angelus) e núcleo compósito (Tetric Ceram, Ivoclar Vivadent). Logo após, eles receberam uma coroa cerâmica de dissilicato de lítio CAD/CAM (IPS e.max CAD) cimentada com compósito autoadesivo (RelyX Unicem 2, 3M Oral Care). Todos os espécimes foram submetidos a 20.000 termociclos e 2.400.000 ciclos de mastigação simulados. Posteriormente, as deformações da coroa cerâmica e da dentina radicular (μS) foram medidas usando extensômetros (n = 10) durante carga de 100 N antes e depois do envelhecimento térmico e mecânico, e após carga de fratura. Os corpos de prova foram, posteriormente, carregados até a fratura (N). A distribuição de tensões foi analisada utilizando modelos 3D individualizados de elementos finitos criados por micro-CT de amostras experimentais (n = 3). Os dados de deformação foram analisados usando

ANOVA de dois fatores e teste HSD de Tukey. A resistência à fratura foi analisada pelo teste t de Student e o modo de fratura foi analisado pelo teste qui-quadrado ($\alpha = 0,05$). Ao término do estudo, os autores concluíram que o grupo NFe apresentou aumento da deformação da dentina radicular após o processo de envelhecimento. O grupo Fe revelou maior resistência à fratura, menor concentração de tensão na dentina radicular e menos fraturas catastróficas (13).

Soares e colaboradores (2018) desenvolveram um estudo de revisão para verificar o efeito dos procedimentos de tratamento endodôntico na forma do canal radicular e nas propriedades mecânicas de um dente. Para a realização da limpeza, formato e obturação do canal, usam-se limas endodônticas que geram forças mecânicas e, conseqüentemente, podem gerar danos como, por exemplo, microfissuras. Os irrigantes intracanaís, que têm como função eliminar micro-organismos, restos de polpa e a camada de esfregaço criada durante a instrumentação radicular, se utilizados com a técnica incorreta, podem causar danos físicos ao dente. Pinos metálicos têm sido substituídos por pinos de fibra de vidro. Os pinos metálicos apresentam um módulo de elasticidade elevado, o que gera fraturas radiculares. Os pinos de fibra de vidro, por permitirem ligação à estrutura dentária através de sistemas adesivos e cimentos resinosos, são menos sensíveis que os pinos metálicos. Concluíram que o desempenho dos dentes tratados endodonticamente está relacionado com os preparos biomecânicos em todas as etapas do tratamento endodôntico (1).

Propriedades mecânicas dos pinos de fibra de vidro

Soares e colaboradores (2012) realizaram uma avaliação clínica longitudinal, em que foram revisados estudos clínicos retrospectivos e prospectivos que promoveram a comparação entre pinos fundidos e pinos de fibra em relação à longevidade das restaurações e às falhas mais prevalentes. Concluíram que os pinos fundidos apresentam desempenho semelhante ao dos pinos de fibra de vidro. Porém, as falhas que ocorrem com os pinos metálicos fundidos são na maioria das vezes irreversíveis, diferente do que acontece com os pinos de fibra de vidro (4)

Novaes e colaboradores (2016) investigaram as propriedades mecânicas e avaliaram a correlação entre suas propriedades e as características estruturais de diferentes pinos de fibra de vidro usando microscopia eletrônica de varredura (MEV). Onze marcas diferentes de pinos de fibra de vidro foram investigadas (n=10). Realizou-se o teste de flexão de três pontos, mensurando as propriedades mecânicas de todas as amostras usando uma máquina de testes (EMIC DL2000; EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil). Posteriormente, as amostras foram avaliadas pela MEV (LEO 435 VP, Carl Zeiss, Alemanha) com ampliação de 1000 vezes. Concluíram que as características estruturais e propriedades mecânicas dos pinos de fibra de vidro são dependentes do processo de fabricação (14).

Cimento adesivo

Da Silva e colaboradores (2015) realizaram um estudo para verificar o efeito da porosidade do cimento resinoso na retenção de pinos de fibra de vidro na dentina radicular. Selecionaram-se dez incisivos centrais superiores humanos que apresentavam canal radicular circular. Estes foram seccionados com 15 mm e obturados endodonticamente. Logo após, escanearam-se as raízes utilizando micro-CT, após a preparação do espaço do pino, para avaliar o remanescente do preenchimento radicular. Cimentaram-se os pinos de fibra de vidro com cimento resinoso autoadesivo (Rely X U200, 3M ESPE). Cortes de 1 mm de espessura foram feitos nos terços cervical, médio e apical e, posteriormente, estes foram escaneados para mensurar o volume das bolhas no cimento resinoso e, finalmente, submetidos ao teste de micropush-out (PBS). A avaliação dos resultados foi feita por três operadores que usaram a estereomicroscopia e a microscopia confocal a laser e descreveram o modo de falha. Sendo que a distribuição de tensão durante o teste micropush-out foram avaliadas usando análise de elementos finitos 3D. Concluíram que bolhas e vazios gerados durante a aplicação do cimento resinoso autoadesivo no canal radicular gera efeitos negativos, como concentração de tensões na interface cimento resinoso/dentina e diminui a resistência de união dos pinos de fibra. Portanto, deve-se considerar o método de manipulação e inserção do cimento resinoso. E

que novos estudos terão que ser desenvolvidos com cimento resinoso comum com diferente fluidez e testando diferentes formas de colocá-lo no canal radicular (6).

Procedimentos durante o tratamento endodôntico

Renovato e colaboradores (2013) fizeram um estudo para verificar o efeito do hidróxido de cálcio e irrigantes na resistência de união dos pinos de fibra de vidro à dentina do canal radicular. Selecionou-se e dividiu setenta dentes bovinos em sete grupos. Logo após, com um disco diamantado dupla face foram seccionados, obtendo-se raízes de 15 mm. Realizou-se o preparo dos canais a um milímetro do ápice. As raízes foram divididas aleatoriamente em 7 grupos: um grupo controle, sem curativo, e seis grupos experimentais, que receberam curativo intracanal com hidróxido de cálcio e água destilada. Os grupos experimentais foram definidos de acordo com o tempo antes da retirada do curativo (imediato, 21 dias ou 6 meses) e o tipo de irrigante endodôntico (se utilizou hipoclorito de sódio a 1% ou hipoclorito de sódio a 1% associado com EDTA 17%). Concluíram que para os pinos de fibra de vidro cimentados com cimento autoadesivo, as amostras em que usou hidróxido de cálcio, tinham valores de adesão semelhantes ao do grupo controle. E que o uso do EDTA diminui a resistência de união nos testes imediatos (terços médio e apical) e após 21 dias (terço médio). Ocorrendo uma resistência de união significativamente menor nos grupos irrigados com hipoclorito de sódio 1% e testados em seis meses (terços médio e cervical) (15).

Fotoativação do cimento resinoso x resistência de união do pino à dentina radicular

Pereira e colaboradores (2015) conduziram um estudo para avaliar o efeito da fotoativação nas propriedades mecânicas do cimento resinoso e na resistência de união do pino de fibra de vidro à dentina radicular. Foram selecionados 135 incisivos bovinos. As coroas foram removidas, obtendo-se 15 mm de comprimento de raiz. Sendo preconizado 14 mm o comprimento de

trabalho. Os canais foram instrumentados e os pinos de fibra de vidro foram cimentados com RelyX Unicem (3M ESPE), Panavia F 2.0 (Kuraray) ou RelyX ARC (3M ESPE), efetuando-se três tempos de fotoativação: fotopolimerização imediatamente, após três minutos ou após cinco minutos. Posteriormente, a resistência de união *micropush-out* (PSB) foi mensurada nos terços coronal, médio e apical. O módulo de elasticidade (E) e a dureza Vickers (VHN) da camada de cimento ao longo do canal radicular foram determinados por meio de endentação dinâmica ($n=5$). Concluíram que os valores de PSB dos pinos de fibra para dentina radicular, módulo de elasticidade e dureza de Vickers foram influenciados pela região do canal radicular, tempo de fotoativação e cimento resinoso. Os valores de tensão de contração diminuíram gradativamente com o atraso da fotoativação para todos os cimentos resinosos. Observou-se também que a resistência de união aumentou à medida que ocorreu o atraso na fotoativação. Valores de força de micropush-out consideravelmente mais altos foram alcançados para o RelyX Unicem com um tempo de fotoativação retardado de cinco minutos (16).

Uso do ultrassom em dentes tratados endodonticamente

Kim e colaboradores (2018) avaliaram a qualidade da obturação de um cimento endodôntico pré-misturado à base de silicato de cálcio (Endoseal MTA), recentemente desenvolvido, com uma técnica de cone único de guta-percha (GP), em comparação com um cimento à base de resina (AH plus) aquecido, com compactação vertical. Investigaram também o efeito da ativação ultrassônica mediada por cone de guta-percha na qualidade de enchimento do Endoseal MTA. Foram selecionados trinta pré-molares humanos unirradiculares, que foram preparados e distribuídos em três grupos experimentais, de acordo com o método de preenchimento: grupo 1 (Endoseal MTA + cone único); grupo 2 (Endoseal MTA + cone único com ativação ultrassônica); e grupo 3 (AH plus + compactação vertical aquecida). Posteriormente, cada dente foi escaneado por meio de microtomografia computadorizada (μ -CT), e as proporções de seções com vazios, bem como as porcentagens de volume de vazios, foram calculadas. Logo após, o dente foi seccionado transversalmente, e a presença

de vazios nos cortes foi analisada em estereomicroscópio. Os dados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância unidirecional e de testes de Tukey para detectar diferenças significativas ($\alpha = 0,05$). Ao avaliar μ -CT, observa-se que não houve diferença significativa entre os grupos em relação à proporção de cortes com vazios e ao percentual de volume de vazios ($P > 0,05$). No entanto, na avaliação estereomicroscópica, o grupo 1 apresentou maior número de vazios e maior pontuação de vazios em comparação com os demais grupos ($P < 0,05$). Portanto, os autores concluíram que o Endoseal MTA apresentou melhor desempenho quando utilizado com ativação ultrassônica mediada por cone de guta-percha (9).

Caceres e colaboradores (2018) fizeram um estudo para avaliar e quantificar bolhas e falhas geradas durante a cimentação de pinos de fibra usando diferentes técnicas. Foram usadas 24 raízes padronizadas de resina acrílica tratadas endodonticamente, estas foram divididas em 4 grupos ($n=6$): pinos de fibra cimentados com cimento resinoso; pinos de fibra reembasados com resina composta e cimentados; pinos de fibra cimentados com ultrassom; e pinos reembasados com resina composta e cimentados com ultrassom. Cada espécime foi escaneado duas vezes por microtomografia computadorizada: primeiro com a raiz vazia e depois com o pino de fibra cimentado. Logo após, os arquivos DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) foram levados para um *software* de reconstrução tridimensional para avaliação. Examinando o volume de bolhas no sistema de cimentação e a formação de fendas; tanto análises quantitativas quanto análises qualitativas foram realizadas. Os autores concluíram, a partir deste estudo, que o uso de resina composta para reembasar o pino de fibra reduz significativamente a formação de bolhas durante o procedimento de cimentação quando nenhum dispositivo de agitação ultrassônica é utilizado. O uso de um dispositivo ultrassônico não diminuiu a porcentagem de formação de vazios ou fendas em nenhuma das técnicas analisadas (10).

Verdum e colaboradores (2022) realizaram um estudo *in vitro* para avaliar o efeito da ativação ultrassônica de dois sistemas adesivos (adesivo condicionante e adesivo autocondicionante) e de um cimento de ionômero de

vidro na penetração dos túbulos dentinários e na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular. Selecionaram sessenta incisivos centrais superiores, foram tratados endodonticamente e divididos em 6 grupos (n=10) de acordo com a estratégia pós-cimentação: Grupo 1 (ácido e enxágue); Grupo 2 (ácido e enxágue e ultrassom); Grupo 3 (autocondicionante); Grupo 4 (autocondicionante e ultrassom); Grupo 5 (cimento ionômero de vidro) e Grupo 6 (cimento de ionômero de vidro e ultrassom). Primeiramente, realizaram-se o preparo endodôntico e a desobturação dos canais. Depois, previamente à cimentação dos pinos, os *primers*, adesivos e cimento de ionômero de vidro foram ativados por vinte segundos cada com ultrassom. Em seguida, foram cimentados com cimento resinoso. A penetração dos túbulos dentinários foi avaliada por microscopia confocal de varredura a laser e a resistência de união micropush-out medida em três locais de pino: cervical, médio e apical. Depois de avaliarem os resultados, concluíram que: a ativação ultrassônica melhorou a penetração nos túbulos dentinários de um sistema autoadesivo; a resistência de união micropush-out de pinos de fibra cimentados com sistema adesivo autocondicionante e cimento resinoso também melhorou após ativação ultrassônica (5).

OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito da ativação ultrassônica em diferentes técnicas de cimentação na resistência de união micropush-out à dentina radicular.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar o efeito da ativação ultrassônica em diferentes técnicas de manipulação e inserção do cimento resinoso (cimento manipulado manualmente e inserido com lima endodôntica, cimento manipulado manualmente e inserido com Centrix, Automix Convencional e Automix com Endotip) sobre a resistência de união micropush-out de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.

Avaliar o efeito da ativação ultrassônica em diferentes técnicas de manipulação e inserção do cimento resinoso (cimento manipulado à mão e inserido com lima endodôntica, cimento manipulado à mão e inserido com Centrix, Automix Convencional e Automix com Endotip) no modo de falha após o teste de micropush-out.

HIPÓTESE

A hipótese nula (H_0) do trabalho foi que não haveria diferença na resistência de união à dentina quando comparadas as diferentes técnicas de manipulação e inserção do cimento resinoso associadas ao uso do ultrassom.

MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo do estudo foi revisado e aprovado pela Comissão de Ética no uso de animais (CEUA) da Universidade Evangélica de Goiás, Anápolis, Brasil (no 001/2021).

Delineamento Experimental

Este foi um estudo *in vitro* com raízes de dentes bovinos (dentes de banco de dados). Foram utilizadas 40 raízes bovinas. O fator de estudo foi: Tipo de manipulação e inserção do cimento (Tabela 1) (a: Cimento manipulado manualmente e inserido com lima endodôntica; b: Cimento manipulado manualmente e inserido com Centrix; c: Automix Convencional; e d: Automix com Endotip) com o uso do ultrassom. A variável-resposta foi: resistência de união micropush-out de pinos de fibra de vidro à dentina radicular e modo de falha (Tabela 2).

Tabela 1 – Descrição do Cimento resinoso

Marca Comercial	Fabricante	Versões	Composição Química	Indicação
RelyX™ U200	3M ESPE	Seringa pasta/pasta: Clicker ou Automix	Pasta base: Pó de vidro tratado com silano, ácido 2 propenóico, 2 metil, 1,1'-[hydroxymetil]-1,2-ethanodiyl] éster, dimetacrilato de trietileno glicol (TEGDMA), sílica tratada com silano, fibra de vidro, persulfato de sódio e per-3,5,5- trimetil-hexanoato t-butila. Pasta catalisadora: Pó de vidro tratado com silano, dimetacrilato substituído, sílica tratada com silano, p-toluenosulfato de sódio, 1-benzil-5-fenil-ácido bórico, sais de cálcio, 1,12-dodecano dimetacrilato,	- Cimentação definitiva de inlays, onlays, coroas e próteses fixas de cerâmica, compósito ou metal; próteses tipo Maryland de 2 e 3 elementos e próteses adesivas de 3 elementos. - Cimentação definitiva de pinos intrarradiculares. - Cimentação definitiva de restaurações totalmente cerâmicas, compósito ou metal sobre abutments de implantes.

			hidróxido de cálcio e dióxido de titânio.	
--	--	--	---	--

Tabela 2: Grupos de estudo e variável resposta obtida.

Forma de Inserção		Variável resposta
G1.	Lima endodôntica + ultrassom	Resistência de união micropush-out e modo de falha
G2.	Centrix + ultrassom	
G3.	Automix Convencional + ultrassom	
G4.	Automix Endotip + ultrassom	

Preparo das amostras

Quarenta incisivos bovinos, com ápices fechados, de tamanho e formato anatômicos semelhantes, foram selecionados e armazenados em solução de timol 0,2% (Fitofarma, Goiânia, GO, Brasil) até o momento de uso. Os espécimes foram cortados com disco diamantado de dupla face (KG Sorensen; Barueri, SP, Brasil) a baixa velocidade, com ar/água refrigerante em spray, para remover a coroa, mantendo as raízes com 15 mm de comprimento a partir da extremidade apical, padronizada com paquímetro digital.

O comprimento de trabalho foi determinado pela visualização de uma lima K-File número 10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) no forame apical. E o comprimento real de trabalho foi estabelecido em 1,0 mm aquém desta medida. Os canais radiculares foram preparados utilizando limas manuais (K-File, Dentsply Malleifer) de números 50 e 80. A cada troca de instrumento, os canais radiculares foram irrigados com 5 ml de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5% (Cloro Rio; São José do Rio Preto, SP, Brasil), usando uma seringa descartável de 5ml (Ultradent, South Jordan, UT, EUA) e uma agulha de calibre 29 (NaviTip; Ultradent). A irrigação final consistiu na aplicação de 4 mL à 17% de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA, Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) por 3 minutos, seguida de uma solução de NaOCl a 2,5% (Cloro Rio; São José do Rio Preto, SP, Brasil) por 1 minuto, e de 5 ml de solução salina (LBS Labor; São Paulo, SP, Brasil) para remoção de resíduos remanescentes. Todos os procedimentos de irrigação foram realizados com seringas Ultradent (Ultradent

Products Inc., EUA) e agulhas Endo-Eze Irrigator (Ultradent Products Inc., EUA). Os canais radiculares foram secos utilizando pontas de papel esterilizadas (Dentsply Malleifer) correspondente ao último instrumento, e, em seguida, imediatamente obturados mediante técnica de condensação lateral, empregando cone mestre de guta-percha (F4 ProTaper Universal, Dentsply Malleifer) e cones auxiliares de guta-percha, além de cimento à base de resina epóxi AH Plus (Dentsply Malleifer, Ballaigues, Suíça). A abertura do canal radicular foi selada com cimento de ionômero de vidro modificado com resina (Vitremer, 3M Oral Care; St. Paul, MN, EUA). As raízes tratadas endodonticamente foram armazenadas a 37 °C e 100% de umidade relativa por 7 dias, a fim de assegurar a presa final do cimento.

Preparo do conduto radicular

Um instrumento aquecido (condensador Paiva, Golgran; São Paulo, SP, Brasil) foi empregado para remover a guta-percha até uma profundidade de 10 mm. Os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em quatro grupos (n= 10), de acordo com: 1. Tipo de manipulação e inserção do cimento (a: cimento manipulado manualmente e inserido com lima endodôntica; b: cimento manipulado manualmente e inserido com Centrix; c: automix convencional; e d: automix com Endotip). Após a preparação do espaço, empregou-se uma broca Gates-Gliden 5 com 8 mm. As raízes foram radiografadas para verificação da remoção completa do material obturador, inclusive das paredes do conduto. Utilizou-se uma broca específica para o sistema de pinos (White Post DC #3, FGM; Joinville, SC, Brasil), com dimensões compatíveis com as do pino de fibra de vidro a uma profundidade de 14 mm (altura de 20 mm, diâmetros superior e inferior de 2,0 mm e 1,25 mm, respectivamente). O espaço foi irrigado com 5 mL de solução salina e seco com pontas de papel (Dentsply Malleifer).

Cimentação do Pino de Fibra de Vidro

Os pinos de fibra de vidro (White Post DC #3; FGM) foram limpos com álcool e, posteriormente, secos com jato de ar. Subsequentemente, um agente silano foi aplicado no pino e deixado para secar por 1 minuto (Silano, Angelus;

Londrina, PR, Brasil). Todos os condutos radiculares preparados foram secos com pontas de papel absorvente de número 80 (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça) e os pinos de fibra foram cimentados por meio de quatro técnicas distintas (Tabela 3).

Tabela 3: Grupos de estudo e descrição das técnicas de cimentação.

Grupos		Descrição da cimentação
G1.	Lima endodôntica + ultrassom	O cimento foi disposto em uma placa de vidro e manipulado com espátula e inserido no conduto radicular com uma lima endodôntica (K-File, Dentsply Maillefer).
G2.	Centrix + ultrassom	O cimento foi disposto em uma placa de vidro e manipulado com espátula, inserido em uma seringa Centrix e dispensado diretamente dentro do conduto radicular
G3.	Automix Convencional + ultrassom	O cimento foi manipulado utilizando a seringa Automix e dispensado diretamente dentro do conduto radicular
G4.	Automix Endotip + ultrassom	O cimento foi manipulado utilizando a seringa Automix e dispensado diretamente dentro do conduto radicular utilizando a ponta “Endotip” seguindo movimento de apical para cervical.

O cimento resinoso foi inserido no canal radicular conforme as técnicas descritas na Tabela 2. E, logo em seguida, o pino de fibra de vidro foi colocado no conduto radicular preparado utilizando-se uma pinça clínica (SS White, Duflex, Brasil). A agitação com a utilização do ultrassom foi realizada da seguinte forma: o aparelho de ultrassom utilizado foi o SEM PM 200 (SEM-Electro Medical Systems, Nyon, Suíça) e a ponta ultrassônica E1-Irrisonic (Helse,

Santa Rosa do Viterbo, SP, Brasil), que foi aplicada na pinça clínica, assim que o pino foi colocado junto ao cimento no conduto radicular (sem que este tocasse as paredes dos canais, para que vibrasse livremente). A unidade ultrassônica foi ajustada para 10% de potência, e a ativação ultrassônica foi realizada por 20 segundos.

Após a inserção do cimento e sua agitação, foi aguardado o tempo de 5 minutos para a presa química do cimento e, após, foi usado o aparelho fotopolimerizador Valo (Ultradent Products, South Jordan, Estados Unidos), realizando a fotopolimerização por 40 segundos, mantendo a ponta-guia da unidade fotopolimerizadora perpendicular. Todos os procedimentos foram realizados por um único operador. As amostras foram armazenadas em água destilada na geladeira por, no mínimo, 24 horas.

Obtenção das fatias (corpos de prova)

As raízes foram posicionadas perpendicularmente e fixadas individualmente em placa de acrílico, tendo cuidado de que sua porção apical ficasse levemente afastada da base de acrílico. Logo em seguida, a placa de acrílico contendo a raiz foi posicionada e ajustada em máquina cortadora de precisão metalográfica (CPT – 25, Teclago, Vargem Grande Paulista, SP, Brasil). Foi submetida a cortes transversais, utilizando um disco diamantado de dupla face (4" x 0.012" x 1/2; ERIOS, SP, Brasil), ajustado a 450 rpm, sob irrigação constante. Obtiveram-se três fatias de 1 mm de espessura em diferentes segmentos da raiz (terços apical, médio e cervical), totalizando 9 por raiz (Figura 1). Cada corpo de prova foi armazenado em microtubo de ensaio, contendo água destilada a 37 °C até a realização do teste.

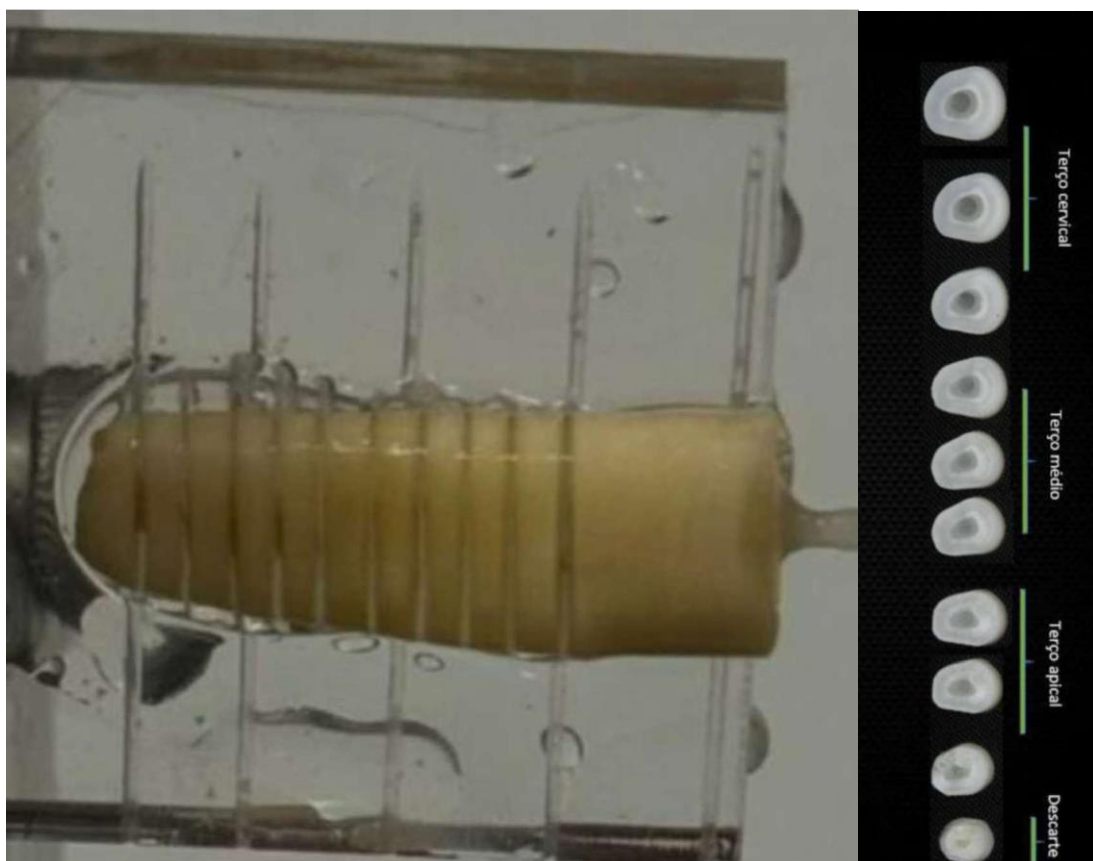


Figura 1. Obtenção dos corpos de prova: os cortes foram realizados de apical para coronal.

Fonte: Elaborada pela autora.

Teste de Micropush-out

O teste de push out foi realizado na máquina de ensaio universal (Odeme OM 150, Luzerna, Santa Catarina – Brasil) (Figura 2). Primeiramente, foi realizada a seleção da base metálica, que deveria ter um orifício maior do que a abertura do canal (Figura 3). Logo após, posicionou cada *slice* na mesma direção do orifício da base metálica com a face apical voltada para cima, favorecendo a extrusão sem resistência adicional (Figura 4).

Posteriormente, uma ponta metálica cilíndrica foi selecionada, com 85% do diâmetro do material restaurador, que induziu uma carga perpendicular à superfície do corte no pino de fibra, a uma velocidade de 0,5 mm/min (Figuras 5 e 6). Os valores de resistência de união (MPa) foram obtidos pela razão entre a carga de ruptura do corpo de prova (N) e a área aderente (mm²) (Figura 7).



Figura 2. Máquina de ensaio universal Odeme OM 150, utilizada para realizar o teste de micromicropush-out.

Fonte: Elaborada pela autora.



Figura 3. Base metálica será utilizada de acordo com diâmetro de cada fatia.

Fonte: Elaborada pela autora.

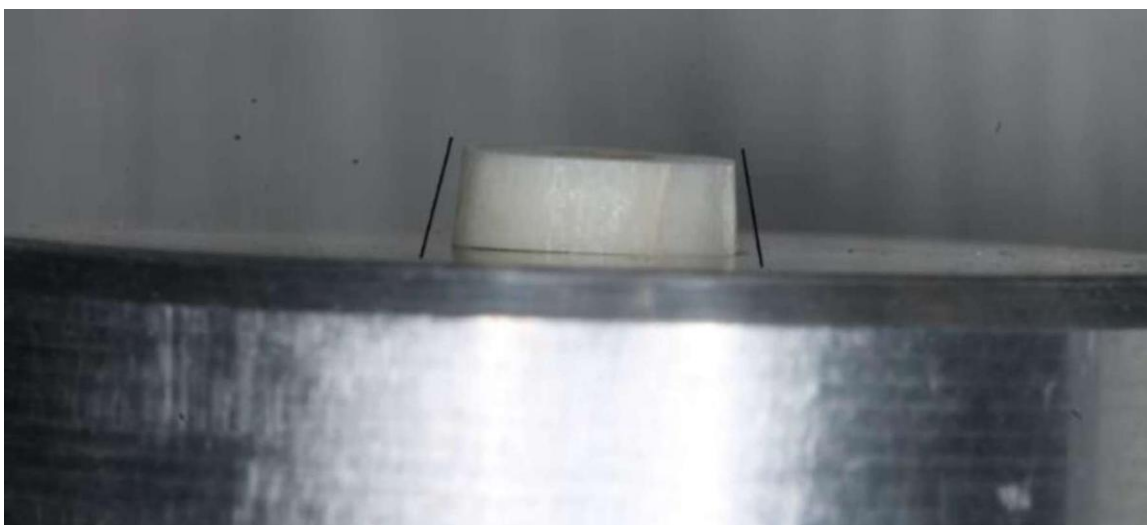


Figura 4. Todas as fatias foram colocadas na base metálica com as faces coronais voltadas para baixo.

Fonte: Elaborada pela autora.

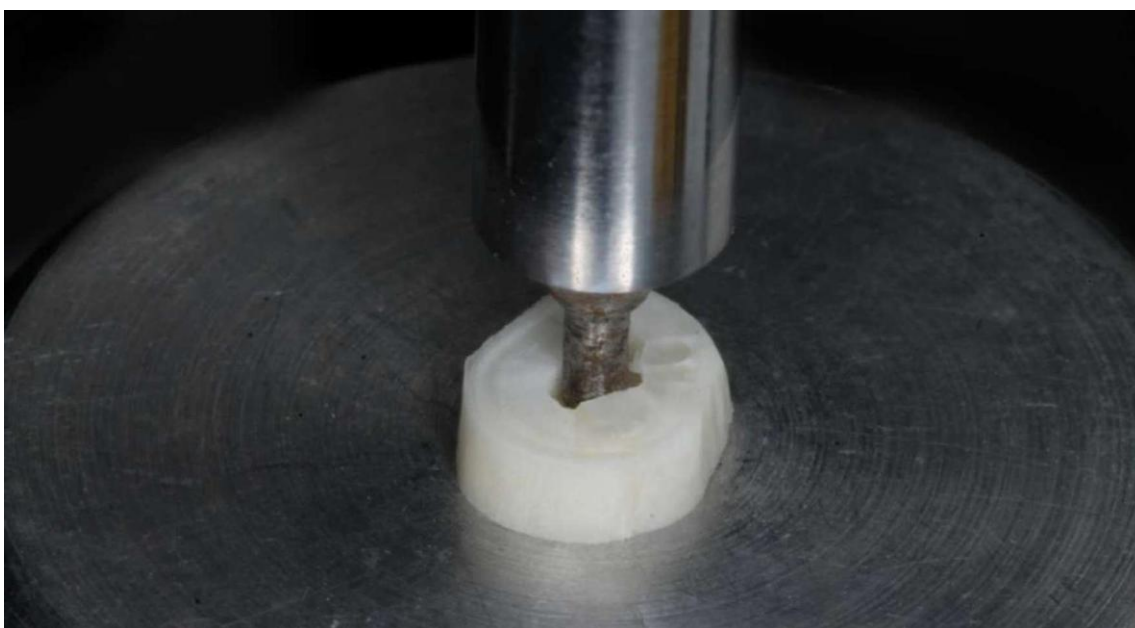


Figura 5: Com a aplicação da força, o êmbolo deslocou o material restaurador (pino de fibra de vidro e cimento resinoso) do canal radicular da fatia, e a máquina de ensaio universal registrou a força máxima necessária para romper essa adesão.

Fonte: Elaborada pela autora.



Figura 6. Configuração do material restaurador após sua extrusão do canal radicular da fatia.

Fonte: Elaborada pela autora.

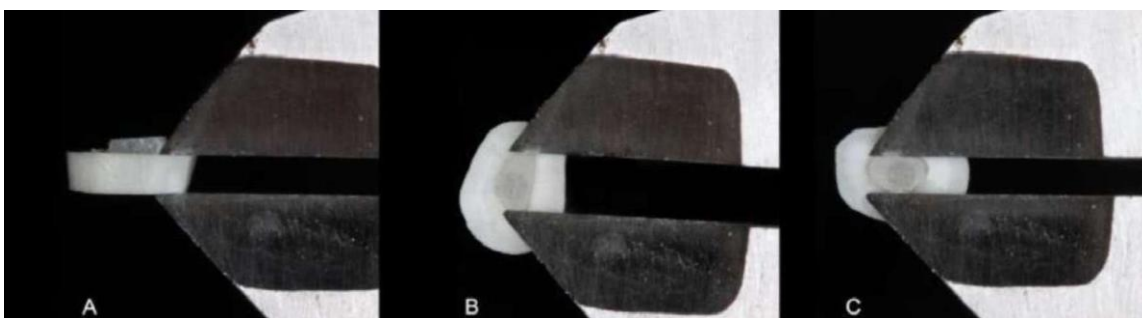


Figura 7. Para o cálculo da área adesiva mediu-se a altura/espessura da fatia (A), o maior (B) e menor (C) diâmetro da elipse.

Fonte: Elaborada pela autora.

Modo de falha

Após o ensaio mecânico, cada espécime foi armazenado individualmente em microtubos tipo Eppendorf com água destilada, para posterior análise do padrão de fratura por meio da microscopia óptica. Todas as amostras foram analisadas com o auxílio de microscópio digital manual (Pro de Celestron – sensor 5MP, Califórnia, EUA) foi estabelecido a ampliação de 200x. Os tipos de falha foram classificados em seis categorias: (AD) falha adesiva entre o agente cimentante e a dentina radicular; (AP) falha adesiva entre o pino e o agente cimentante; (M) falha adesiva mista (entre pino, agente cimentante e

dentina); (CD) falha coesiva na dentina; (CC) falha coesiva no cimento (Figura 8).

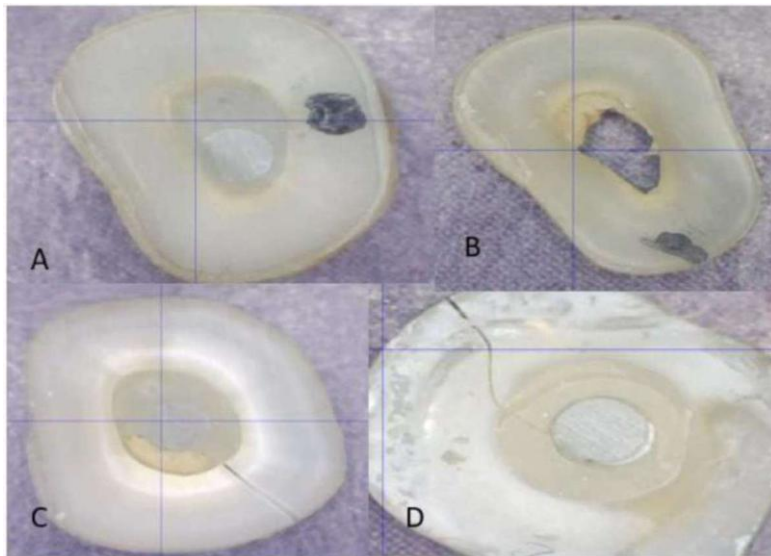


Figura 8: A) falha adesiva entre dentina e agente cimentante; B) falha adesiva entre pino e agente cimentante; C) falha coesiva na dentina; D) falha mista.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada no *software* Jamovi (The Jamovi Project, 2025). A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os valores de resistência de união (MPa) obtidos por meio de ensaio mecânico de micromicropush-out foram submetidos aos testes de Kruskal-Wallis, seguidos do teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner para comparações múltiplas. Dados submetidos ao teste de Friedman, seguidos do teste de Durbin-Conover para comparação entre terços. O nível de significância estabelecido para todas as análises estatísticas foi de $\alpha=5\%$.

RESULTADOS

Resistência de União

Os discos foram submetidos ao teste de micropush-out e os valores de resistência de união (MPa) foram submetidos aos testes de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ($\alpha = 5\%$) para comparação

entre grupos. Dados submetidos ao teste de Friedman seguido do teste de Durbin-Conover ($\alpha = 5\%$) para comparação entre terços. Jamovi (The Jamovi Project, 2025) foi o software estatístico utilizado (Tabela 4).

No terço cervical, não houve diferença significativa entre os grupos ($p = 0,524$). As medianas variaram de 10,4 MPa (G1: lima endodôntica + ultrassom) a 13,6 MPa (G4: Automix Endotip + ultrassom), indicando comportamento semelhante entre os protocolos nessa região. No terço médio, observou-se diferença significativa entre os grupos ($p = 0,006$). O grupo G1 apresentou os menores valores de resistência de união (mediana = 8,51 MPa), diferindo significativamente dos grupos G3 (13,7 MPa) e G4 (12,7 MPa). O grupo G2 (10,5 MPa) apresentou valores intermediários, não diferindo dos demais. De forma geral, os protocolos que utilizaram cimento automix (G3 e G4) apresentaram melhor desempenho no terço médio. No terço apical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p = 0,897$), com medianas semelhantes, variando de 6,19 MPa (G2) a 6,88 MPa (G4).

A análise intragrupo revelou diferenças significativas ao longo dos terços radiculares em todos os grupos experimentais (G1: $p = 0,050$; G2: $p = 0,036$; G3 e G4: $p < 0,001$).

De maneira geral, observou-se que os valores de resistência de união foram significativamente maiores nos terços cervical e médio, quando comparados ao terço apical, em todos os grupos. Não houve diferença significativa entre os terços cervical e médio para a maioria dos grupos, exceto pequenas variações no G3 e G4, onde o terço médio apresentou tendência a valores mais elevados.

Tabela 4: Valores de resistência de união

Grupos experimentais	Terço Cervical		Terço Médio		Terço Apical	
	Mediana	Interquartil Q25-Q75	Mediana	Interquartil Q25-Q75	Mediana	Interquartil Q25-Q75
G1. Lima endodôntica + ultrassom	10,4 ^{Aa}	7,55-16,2	8,51 ^{Aa}	5,92-12,1	6,4 ^{Ba}	3,34-10,3
G2. Centrix + ultrassom	11,3 ^{Aa}	8,89-15,6	10,5 ^{Aa}	7,84-12,9	6,19 ^{Ba}	3,08-9,57
G3. Automix Convencional + ultrassom	11,7 ^{Aa}	8,86-16,4	13,7 ^{Ab}	10,8-15,9	6,56 ^{Ba}	3,71-10,8
G4. Automix Endotip + ultrassom	13,6 ^{Aa}	10,6-16,9	12,7 ^{Aab}	9,57-16,2	6,88 ^{Ba}	3,43-10,8
Valor de p	0.524		0.006		0.897	

* **Letras maiúsculas** diferentes indicam existência de diferenças significativas nas **linhas** (Friedman seguido de teste Durbin-Conover, $p < 0,05$). **Letras minúsculas** diferentes indicam existência de diferenças significativas nas **colunas** (Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, $p < 0,05$).

Modo de Falha

A distribuição dos modos de falha revelou predominância de falhas adesivas entre o agente cimentante e a dentina radicular (AD) em todos os grupos experimentais, com valores variando de 72,4% (Grupo 3) a 88,6% (Grupo 4). As falhas adesivas entre o pino e o agente cimentante (AP) apresentaram baixa ocorrência geral, sendo mais expressivas no Grupo 2 (8,5%) e ausentes no Grupo 4. As falhas mistas (M) mostraram maior frequência no Grupo 3 (21%), enquanto os demais grupos apresentaram valores inferiores a 10%. As falhas coesivas em dentina (CD) foram raras ou inexistentes, ocorrendo apenas nos Grupos 1 (3,6%) e 2 (1,4%). Da mesma forma, as falhas coesivas no cimento (CC) apresentaram baixa incidência em todos os grupos, variando de 1,4% a 3,4%. De modo geral, observa-se um padrão consistente de falha predominantemente adesiva na interface dentina-cimento.

Tabela 5. Distribuição dos modos de falhas para os grupos experimentais.

GRUPOS	Modo de falha %					
	AD	AP	M	CD	CC	Total
1	81.8	3.6	9	3.6	2	100
2	82.8	8.5	5.9	1.4	1.4	100
3	72.4	4	21	0	2.6	100
4	88.6	0	8	0	3.4	100

(AD) falha adesiva entre o agente cimentante e a dentina radicular; (AP) falha adesiva entre o pino e o agente cimentante; (M) falha adesiva mista (entre pino, agente cimentante e dentina); (CD) falha coesiva na dentina; (CC) falha coesiva no cimento.

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como proposta avaliar *in vitro* o efeito da ativação ultrassônica de um cimento resinoso na resistência de união micropush-out de pinos de fibra de vidro à dentina radicular e modo de falha. Os resultados não demonstraram diferenças entre os grupos G1, G2, G3 e G4, o que evidencia a influência do uso do ultrassom. Assim, a hipótese do estudo/hipótese nula foi aceita, pois a utilização do ultrassom durante a cimentação dos pinos iguala os resultados do teste de micropush-out entre as diferentes técnicas de inserção do cimento no conduto radicular.

Com relação ao substrato utilizado, os dentes bovinos têm sido amplamente utilizados por apresentarem características físico-químicas, estruturais e biológicas semelhantes às dos dentes humanos, além da facilidade em padronizar as amostras do estudo, o que supera barreiras éticas (17–20). Embora Schilk e colaboradores (21) tenham demonstrado que a densidade de túbulos na dentina radicular bovina é significativamente maior do que na dentina radicular humana, outros estudos mostram que dentes bovinos são substitutos confiáveis para dentes humanos (22,23). Estudos prévios têm demonstrado que, em testes de resistência ao cisalhamento, dentes bovinos são uma alternativa adequada para dentes humanos permanentes e decíduos, tanto no substrato de esmalte quanto no de dentina (24).

Os cimentos dentários influenciam na durabilidade e sucesso do tratamento com pinos intracanaís (25,26). No presente estudo, optou-se por utilizar o cimento resinoso RelyX U200 por ser autoadesivo, de presa dual e disponível em duas formas distintas de dispensador: Clicker e Automix. Logo, este proporciona adesão à superfície dentária sem exigir pré-tratamento da superfície dentinária, além de apresentar alta resistência de união ao deslocamento e menores valores de tensão de polimerização (27,28). Portanto, permite a simplificação dos procedimentos de cimentação adesiva, reduzindo o número de passos e a sensibilidade técnica em comparação com os cimentos resinosos convencionais (28). Além disso, a necessidade de um cimento resinoso de polimerização dual, ou seja, química e fotoativada, devido à

impossibilidade de se realizar a fotoativação na porção mais apical do pino de fibra de vidro.

Na tentativa de otimizar a penetração do cimento resinoso no canal radicular, utilizou-se a ativação ultrassônica. A ativação ultrassônica apresentou resultados melhores na penetração nos túbulos dentinários de um sistema adesivo autocondicionante, no entanto, não foram observados estudos que comparam a resistência adesiva utilizando cimentos resinosos (5). O único uso do ultrassom associado aos cimentos resinosos não apresentou melhora em relação às técnicas analisadas, e os autores afirmam que a técnica pode aumentar o custo operacional por exigir a aquisição do aparelho (10). No entanto, no presente estudo, não houve diferença significativa entre os terços cervical e médio para a maioria dos grupos, exceto pequenas variações nos G3 e G4, em que o terço médio apresentou tendência a valores mais elevados, o que comprova que o ultrassom teve efeito na melhora da resistência de união, visto que estudo prévio demonstra que o uso de cimento com mistura automática, inserido no canal radicular por meio de uma ponta endodôntica, reduziu de forma estatisticamente significativa a porosidade do cimento resinoso. Quando o cimento resinoso foi misturado manualmente e inserido no canal radicular utilizando uma lima endodôntica, observaram-se a maior porosidade e a menor resistência de união (6)

Um aspecto favorável da utilização do ultrassom é que, considerando a ausência de diferença estatística nos terços cervical e apical, a forma de apresentação do RelyX U200 Clicker, com 11 g, permite aproximadamente 80 doses. Considerando o uso de duas doses por pino e o descarte da primeira porção, seria possível cimentar cerca de 39 pinos. Em contrapartida, o RelyX U200 Automix apresenta 33% menos material e custo aproximadamente 1,2% superior, sendo disponibilizado em seringa com pontas automisturadoras, que permitem o uso de ponteiros alongadoras (Endotip). Por um lado, o sistema Automix possibilita a inserção do cimento do terço apical em direção ao cervical, reduzindo a incorporação de bolhas e favorecendo maior homogeneidade e resistência do material. Por outro lado, o cimento retido no interior da ponta misturadora resulta em desperdício de material (29).

No terço cervical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p = 0,524$). Esses achados sugerem que, nessa região, os diferentes protocolos de inserção e de manipulação do cimento apresentam desempenho semelhante. Esse comportamento pode ser explicado pela maior acessibilidade do terço cervical, que favorece o controle da técnica operatória, reduz a incorporação de bolhas e permite uma melhor adaptação do cimento às paredes do canal radicular (26,30).

Por outro lado, no terço médio, foi observada diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p = 0,006$), evidenciando maior sensibilidade dessa região às variações nos protocolos de cimentação. O grupo G1 apresentou os menores valores de resistência de união, diferindo significativamente dos grupos G3 e G4, que utilizaram sistemas automix. Esse resultado sugere que a padronização da mistura e a inserção mais controlada do cimento, proporcionadas pelos sistemas automix, podem favorecer a qualidade da interface adesiva nessa região, fato já reportado em estudo anterior (6). O grupo G2 apresentou desempenho intermediário, possivelmente refletindo uma melhora na inserção do material em comparação à técnica manual, porém ainda dependente de variáveis operatórias.

No terço apical, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos ($p = 0,897$), com valores de resistência de união consistentemente inferiores aos dos demais terços. Esse achado está de acordo com a literatura e pode ser atribuído a fatores inerentes à região apical, como menor densidade e diâmetro dos túbulos dentinários, maior dificuldade de acesso, maior fator de configuração cavitária (C-factor) e maior probabilidade de aprisionamento de bolhas e falhas na inserção do cimento (30).

A análise intragrupo demonstrou diferenças significativas ao longo dos terços radiculares em todos os grupos experimentais, com tendência consistente de maiores valores de resistência de união nos terços cervical e médio em comparação ao terço apical. Esse padrão reforça a influência da anatomia radicular e das limitações técnicas sobre o desempenho adesivo. Além disso, embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre os terços cervical e médio na maioria dos grupos, os grupos que utilizaram sistemas

automix (G3 e G4) apresentaram tendência a maiores valores no terço médio, sugerindo possível benefício clínico dessa abordagem em regiões de acesso intermediário.

A predominância de falhas adesivas na interface entre o agente cimentante e a dentina radicular sugere que essa região representa o ponto crítico do sistema restaurador, corroborando achados prévios que indicam a dentina radicular como substrato desafiador para adesão, especialmente devido à sua composição, umidade e dificuldade de acesso clínico (26,30). A maior incidência de falhas mistas no Grupo 3 pode indicar melhor interação entre os componentes do sistema adesivo, resultando em uma distribuição mais equilibrada das tensões. Por outro lado, a baixa ocorrência de falhas coesivas, tanto na dentina quanto no cimento, sugere que a resistência intrínseca desses materiais foi superior à resistência da interface adesiva, reforçando que a falha ocorre preferencialmente por descolamento e não por ruptura estrutural dos substratos. As diferenças observadas entre os grupos podem estar relacionadas aos diferentes protocolos de cimentação e inserção do cimento, influenciando a qualidade da interface adesiva e a formação de defeitos, como bolhas ou falhas de preenchimento.

Do ponto de vista clínico, os resultados indicam que, embora os sistemas automix possam oferecer vantagens no terço médio, especialmente em termos de padronização e potencial redução de defeitos na interface adesiva, a utilização de técnicas alternativas associadas à ativação ultrassônica pode resultar em desempenho semelhante nos demais terços, com potencial benefício em termos de custo e otimização de material.

Apesar dos achados relevantes, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, trata-se de um estudo *in vitro*, o que não reproduz completamente as condições clínicas, como variações de umidade, presença de fluido dentinário, forças mastigatórias cíclicas e envelhecimento do material ao longo do tempo. Esses fatores podem influenciar diretamente o desempenho da resistência de união em ambiente clínico.

Outra limitação refere-se à avaliação imediata da resistência de união, sem a realização de protocolos de envelhecimento, como termociclagem ou fadiga mecânica, que poderiam fornecer informações mais realistas sobre a durabilidade da interface adesiva ao longo do tempo. Por fim, embora diferentes protocolos de inserção do cimento tenham sido investigados, o estudo utilizou apenas um tipo de cimento resinoso, o que limita a generalização dos achados para outros materiais com composições e propriedades distintas.

Dessa forma, estudos futuros são recomendados para incluir condições que simulem o ambiente clínico, diferentes materiais, análises complementares da interface adesiva e avaliação da longevidade do sistema restaurador.

CONCLUSÃO

Dentro das limitações do presente estudo pode ser concluído que:

- Os diferentes protocolos de inserção do cimento resinoso influenciam a resistência de união de pinos intrarradiculares somente no terço médio radicular.
- Observou-se um padrão geral de maiores valores de resistência de união nos terços cervical e médio quando comparados ao terço apical, independentemente da técnica utilizada.
- Técnicas associadas à ativação ultrassônica mostraram desempenho semelhante aos sistemas automix na maioria das regiões, representando uma alternativa clinicamente viável.
- Considerando o custo e o desempenho, métodos alternativos de inserção do cimento podem ser indicados como opções mais econômicas sem prejuízo significativo na resistência de união.

REFERÊNCIAS

1. Soares CJ, Rodrigues M de P, Faria-e-Silva AL, Santos-Filho PCF, Verissimo C, Kim HC, et al. How biomechanics can affect the endodontic treated teeth and their restorative procedures? *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1):169–83. doi:10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0076
2. OLIVEIRA LV, MAIA TS, ZANCOPÉ K, MENEZES M de S, SOARES CJ, MOURA CCG. Can intra-radicular cleaning protocols increase the retention of fiberglass posts? A systematic review. *Braz Oral Res.* 2018 Mar 15;32(0). doi:10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0016
3. da Silva NR, Raposo LHA, Versluis A, Fernandes-Neto AJ, Soares CJ. The effect of post, core, crown type, and ferrule presence on the biomechanical behavior of endodontically treated bovine anterior teeth. *J Prosthet Dent.* 2010 Nov;104(5):306–17. doi:10.1016/S0022-3913(10)60146-1
4. Soares CJ, Pereira JC, Valdivia ADCM, Novais VR, Meneses MS. Influence of resin cement and post configuration on bond strength to root dentine. *Int Endod J.* 2012 Feb;45(2):136–45. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01953.x PubMed PMID: 21995296.
5. Verдум I, Abreu de Bem I, Marks Duarte PH, Machado LS, Pereira JR, Reis Só MV, et al. Effect of ultrasonic activation of the adhesive system on dentin tubule penetration and the pushout bond strength of fiber posts. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2022 Feb 1;127(2):295–301. doi:10.1016/j.prosdent.2020.07.025 PubMed PMID: 33243473.
6. Da Silva NR, De M, Rodrigues P, Bicalho AA, Soares PBF, Price RB, et al. Effect of Resin Cement Mixing and Insertion Method into the Root Canal on Cement Porosity and Fiberglass Post Bond Strength. *J Adhes Dent.* 2019;21(1):37–46. doi:10.3290/j.jad.a41871
7. Walmsley AD, Lumley PJ. Applying composite luting agent ultrasonically: a successful alternative. *J Am Dent Assoc.* 1995;126(8):1125–9. doi:10.14219/jada.archive.1995.0330

8. Peutzfeldt A. Effect of the ultrasonic insertion technique on the seating of composite inlays. *Acta Odontol Scand.* 1994;52(1):51–4. doi:10.3109/00016359409096376
9. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, Yu MK, Lee KW, Min KS. Root Canal Filling Quality of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer Applied Using Gutta-percha Cone-mediated Ultrasonic Activation. *J Endod.* 2018 Jan 1;44(1):133–8. doi:10.1016/j.joen.2017.07.023 PubMed PMID: 29102078.
10. Caceres EA, Sampaio CS, Atria PJ, Moura H, Giannini M, Coelho PG, et al. Void and gap evaluation using microcomputed tomography of different fiber post cementation techniques. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2018 Jan 1;119(1):103–7. doi:10.1016/j.prosdent.2017.01.015 PubMed PMID: 28461048.
11. Silva GR da, Santos-Filho PC de F, Simamoto-Júnior PC, Martins LRM, Mota AS da, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J.* 2011;22(3):230–7. doi:10.1590/S0103-64402011000300009
12. Roscoe MG, Noritomi PY, Novais VR, Soares CJ. Influence of alveolar bone loss, post type, and ferrule presence on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary canines: strain measurement and stress distribution. *J Prosthet Dent.* 2013 Aug;110(2):116–26. doi:10.1016/S0022-3913(13)60350-9 PubMed PMID: 23929373.
13. Dolores Correia Miranda Valdivia A, de Paula Rodrigues M, Aredes Bicalho A, Van Meerbeek B, Vander Sloten J, Sales Pessoa R, et al. Biomechanical Effect of Ferrule on Incisors Restored with a Fiberglass Post and Lithium-Disilicate Ceramic Crown after Thermal Cycling and Fatigue Loading. *J Adhes Dent.* 2018;20(2):133–42. doi:10.3290/j.jad.a40305
14. Novais VR, Rodrigues RB, Simamoto Júnior PC, Correr-Sobrinho L, Soares CJ. Correlation between the mechanical properties and structural characteristics of different fiber posts systems. *Braz Dent J.* 2016 Jan 1;27(1):46–51. doi:10.1590/0103-6440201600377 PubMed PMID: 27007345.

15. Renovato SR, Santana FR, Ferreira JM, Souza JB, Soares CJ, Estrela C. Effect of calcium hydroxide and endodontic irrigants on fibre post bond strength to root canal dentine. *Int Endod J*. 2013 Aug;46(8):738–46. doi:10.1111/iej.12053 PubMed PMID: 23551247.
16. Pereira RD, Valdívia ADCM, Bicalho AA, Franco SD, Tantbirojn D, Versluis A, et al. Effect of photoactivation timing on the mechanical properties of resin cements and bond strength of fiberglass post to root dentin. *Oper Dent*. 2015 Sep 1;40(5):E206–21. doi:10.2341/14-115-L PubMed PMID: 26237639.
17. Camargo MA, Marques MM, de Cara AA. Morphological analysis of human and bovine dentine by scanning electron microscope investigation. *Arch Oral Biol*. 2008 Feb;53(2):105–8. doi:10.1016/j.archoralbio.2007.09.005
18. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MAC, Puppini-Rontani RM, et al. Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Arch Oral Biol*. 2008;53(11):1023–9. doi:10.1016/j.archoralbio.2008.06.012 PubMed PMID: 18675389.
19. Teruel J de D, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJO. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol*. 2015 May;60(5):768–75. doi:10.1016/j.archoralbio.2015.01.014
20. Franz A, Lettner S, Watts DC, Graf A, Moritz A, Schedle A. Analysis of pre-test failures and bond-strengths of seven adhesive systems to bovine dentine: A nine-year novice/beginner operator study. *Dental Materials*. 2018 Nov;34(11):1599–609. doi:10.1016/j.dental.2018.09.009
21. Schilke R, Lisson JA, Bauß O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol*. 2000 May;45(5):355–61. doi:10.1016/S0003-9969(00)00006-6
22. Lopes MB, Sinhoreti MAC, Correr Sobrinho L, Consani S. Comparative study of the dental substrate used in shear bond strength tests. *Pesquisa Odontológica Brasileira*. 2003 Jun;17(2):171–5. doi:10.1590/S1517-74912003000200014

23. Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: a review of literature. *J Oral Sci.* 2011;53(3):273–82. doi:10.2334/josnurd.53.273 PubMed PMID: 21959653.
24. de Carvalho MFF, Leijôto-Lannes ACN, Rodrigues MCN de, Nogueira LC, Ferraz NKL, Moreira AN, et al. Viability of Bovine Teeth as a Substrate in Bond Strength Tests: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Adhes Dent.* 2018;20(6):471–9. doi:10.3290/j.jad.a41636 PubMed PMID: 30564794.
25. de Assis HC, Cronenbold TJ, Prado HS, Eyüboğlu TF, Özcan M, Sousa-Neto MD, et al. Role of post design and cement type in fiber post adaptation and retention. *BMC Oral Health.* 2026 Dec 1;26(1). doi:10.1186/s12903-025-07539-1
26. Faria NS de, Pelozo LL, Guimarães-Elias LMDE, Rached Junior FJA, Silva SRC da, Messias DC, et al. Impact of different resin materials and light-curing units on adhesive performance of fiber posts. *Braz Dent J.* 2026;36:e256846. doi:10.1590/0103-644020256846 PubMed PMID: 41538515.
27. Bergoli CD, Amaral M, Boaro LC, Braga RR, Valandro LF. Fiber post cementation strategies: effect of mechanical cycling on push-out bond strength and cement polymerization stress. *J Adhes Dent.* 2012 Aug;14(5):471–8. doi:10.3290/j.jad.a28389 PubMed PMID: 23082312.
28. Skupien JA, Sarkis-Onofre R, Cenci MS, de Moraes RR, Pereira-Cenci T. A systematic review of factors associated with the retention of glass fiber posts. *Braz Oral Res.* 2015;29(1):1–8. doi:10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0074 PubMed PMID: 26083089.
29. Watzke R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dental Materials.* 2008 Nov;24(11):1512–7. doi:10.1016/j.dental.2008.03.022
30. Pedrosa Pinto ST, de Moura Oliveira CR, Tanomaru-Filho M, dos Santos Nunes Reis JM. Effect of luting materials and root third on glass fiber posts bonding strength after hydrothermal aging. *PLoS One.* 2026 Jan 1;21(1 January). doi:10.1371/journal.pone.0339002