

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**

**Patrícia Canova Maso**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES  
IRRIGANTES FINAIS, ATIVAÇÃO  
ULTRASSÔNICA E TERAPIA  
FOTODINÂMICA NA RESISTÊNCIA DE  
UNIÃO DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO À  
DENTINA RADICULAR**

Passo Fundo

2022



**Patrícia Canova Maso**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES  
IRRIGANTES FINAIS, ATIVAÇÃO  
ULTRASSÔNICA E TERAPIA  
FOTODINÂMICA NA RESISTÊNCIA DE  
UNIÃO DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO À  
DENTINA RADICULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação do Prof. Dr. João Paulo De Carli e co-orientação do Prof. Dr. Matheus Albino Souza.

Passo Fundo

2022

Folha reservada para  
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.  
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela  
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para  
Ficha catalográfica

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.  
Após, faça a substituição pela Ficha Catalográfica fornecida pela  
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

### **Patrícia Canova Maso**

Nascida em 09 de agosto de 1993 na cidade de Sarandi/RS, a autora é cirurgiã-dentista, graduada pela Universidade de Passo Fundo (UPF) em 06 de agosto de 2016, sob orientação da Prof(a) Dr(a) Cristiane Aparecida de Oliveira, com o trabalho de conclusão de curso intitulado “Protocolo de Higiene Bucal em UTIs dos Hospitais no Estado do Rio Grande do Sul”. Obteve o título de Especialista em Endodontia pela Universidade de Passo Fundo em 18 de fevereiro de 2022. Atualmente realiza atendimento clínico, com foco em Endodontia, nos municípios de Três Passos/RS, Palmeira das Missões/RS e Condor/RS.

## OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Gilmar Antônio Maso e Sônia Maria Canova Maso, por todo apoio para que eu superasse todas as adversidades, sem medir esforços para me verem feliz e realizada na profissão que escolhi. À minha irmã, Daniele Canova Maso, e colega de profissão, que sempre foi meu exemplo, sempre pronta para me apoiar em tudo nesta vida. Vocês são os grandes responsáveis pela pessoa e pela profissional que me tornei ao longo dos últimos anos.

Ao Prof. Dr. João Paulo De Carli, pela orientação, profissionalismo, competência, por partilhar não apenas seu conhecimento teórico e prático, mas experiências, conselhos amigos e aprendizados de vida que levarei para sempre comigo.

Aos meus colegas de turma, pela parceria, cafés, risadas, pela convivência nesses dois anos, mesmo que através de muitas aulas EaD, certamente vocês tornaram esses dois anos de mestrado muito mais especial.

À coorientação do Prof. Dr. Matheus Albino Souza, e aos colaboradores que tive no transcorrer desta pesquisa Dra.

Bárbara F. Rauber, Prof. Dr. Huriel Scartazzini Palhano, Prof. Dr. Douglas Cecchin, Profa. Dra Márcia Borba, Profa. Dra. Ana Paula Farina, e Prof. Fábio Goedel.

Agradeço à Faculdade de Odontologia da Universidade de Passo Fundo, por todos esses anos, de graduação, especialização e mestrado. A todos funcionários, e professores desta instituição, meu eterno carinho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de uma bolsa de estudos, que me permitiu realizar a presente pesquisa e concluir o meu curso de Mestrado.

À empresa Angelus Produtos Odontológicos (Londrina – PR) pela contribuição, através de materiais para que eu pudesse realizar esta pesquisa.

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| BIOGRAFIA DO AUTOR                         | 4   |
| OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS             | 5   |
| SUMÁRIO                                    | 7   |
| LISTA DE TABELAS                           | 8   |
| LISTA DE FIGURAS                           | 9   |
| LISTA DE ABREVIATURAS                      | 10  |
| 1. <b>Erro! Indicador não definido.</b> 6  |     |
| 2. <b>Erro! Indicador não definido.</b> 19 |     |
| 3. <b>Erro! Indicador não definido.</b> 3  |     |
| 4. 665                                     |     |
| 5. 821                                     |     |
| 6. DISCUSSÃO                               | 88  |
| 7. CONCLUSÕES907                           |     |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS                       | 98  |
| REFERÊNCIAS                                | 99  |
| ARTIGO SUBMETIDO                           | 116 |

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1-** Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais 82

**Tabela 2-** Frequência (%) dos modos de falha dos corpos-de-prova submetidos ao teste de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais 84

**Tabela 3-** Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de máxima tensão no teste de resistência à tração por compressão diametral (MPa) para os grupos experimentais 85

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Amostras padronizadas em 2mm de diâmetro interno, 5mm de diâmetro externo e 2mm de espessura

88

**Figura 2.** Desenho esquemático da cimentação dos pinos de fibra de vidro. Corte horizontal para preparo das amostras

78

**Figura 3.** Esquema ilustrativo da realização do teste de *push-out*

98

**Figura 4.** Área do cilindro

99

**Figura 5.** Esquema ilustrativo do teste de compressão diametral

83

**Figura 6.** Gráfico de dispersão com as medianas, resistência de união pelo teste de *push out* e máxima tensão de resistência à tração por compressão diametral para cada grupo experimental

90

**Figura 1.** A Tensão Von Mises durante o teste de compressão diametral

91

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                 |  |
|-----------------|--|
| AD              | Água Destilada                                   |
| AG              | Ácido Glicólico                                  |
| Ca <sub>2</sub> | Cálcio   |
| CA              | Ácido Cítrico                                    |
| CD              | Compressão Diametral                             |
| CHX             | Clorexidina                                      |
| DeCS            | Descritores em Ciências da Saúde                 |
| DTS             | Resistência à Tração                             |
| EDTA            | Ácido Etilenodiaminotetracético                  |
| EDS             | Espectroscopia de Energia Dispersiva por Raios X |
| EndoVac         | Irrigação com Pressão Negativa                   |
| GFP             | Pino de Fibra de Vidro                           |
| IPP             | Irrigação com Pressão Positiva                   |
| IUC             | Irrigação Ultrassônica Contínua                  |
| KHN             | Microdureza Knoop                                |
| LAI             | Irrigação Ativada por Laser                      |
| MEV             | Microscopia Eletrônica de Varredura              |
| MPa             | MegaPascal                                       |
| NaOCl           | Hipoclorito de Sódio                             |

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| N           | Newton                           |
| PA          | Ácido Paracético                 |
| PDT         | Terapia Fotodinâmica             |
| PO          | <i>Push Out</i>                  |
| PUI         | Irrigação Ultrassônica Passiva   |
| PIPS        | Fotoacústica Induzida por Fótons |
| SARC        | Cimento Resinoso Autoadesivo     |
| TEM         | Microscopia Eletrônica de        |
| Transmissão |                                  |
| UFC         | Unidade Formadora de Colônia     |
| US          | Ativação Ultrassônica            |

## RESUMO

**Objetivo:** avaliar a influência de diferentes irrigantes finais, ativação ultrassônica (US) e terapia fotodinâmica (PDT), na resistência de união de pinos de fibra de vidro (GFP) à dentina radicular, por meio de *push out* (PO) e compressão diametral (CD). **Métodos:** 120 raízes bovinas foram preparadas e seccionadas em fatias de 2mm. As amostras foram divididas em 12 grupos (n=10): G1–AD (água destilada); G2–AD+US; G3–EDTA 17%; G4–EDTA 17%+US; G5–AG (ácido glicólico) 17%; G6–AG 17%+US; G7–PDT+AD; G8–PDT+AD+US; G9–PDT+EDTA 17%; G10–PDT+EDTA 17%+US; G11–PDT+AG 17%; G12–PDT+AG 17%+US. Os valores de *push out* e compressão diametral foram analisados pelos testes Kruskal-Wallis e Student-Newman-Keuls. A relação entre os valores de PO e CD foi analisada pelo teste de correlação de Pearson. Os padrões de falha foram analisados pelo teste qui-quadrado. **Resultados:** No teste PO, houve diferença entre os grupos experimentais ( $p < 0,001$ ; poder=1,00) para as três substâncias. Quando o EDTA foi associado, a PDT otimizou a resistência de união, já ao se utilizar o AG, a aplicação de US e PDT resultou em maior resistência de união. Padrões de falha favoráveis (tipos 1 e 5)

foram mais frequentes no Grupo 6 (AG+US). Não foi encontrada relação entre a resistência de união pelo teste PO e CD ( $r=0,112$ ;  $p=0,729$ ). **Conclusão:** No teste de PO, AG, especialmente associado a US e PDT, aumenta a resistência de união de GFP à dentina radicular. A associação de AG+US promoveu os padrões de falha mais favoráveis. Não houve associação entre PO e CD, demonstrando que o teste PO apresenta maior aplicabilidade na avaliação da resistência de união de GFP à dentina radicular.

**Palavras chave:** Terapia fotodinâmica. Ácido etilenodiaminotetracético. Ácido glicólico. Ultrassom. *Push out*. Compressão diametral.

## ABSTRACT<sup>1</sup>

Objective: To evaluate the influence of different final irrigants ultrasonic activation (US), and photodynamic therapy (PDT) on the bond strength of glass fiber posts (GFP) to root dentin, using push out (PO) and diametral compression (CD) tests. Methods: 120 bovine roots were prepared and sectioned into 2-mm slices. The samples were divided into 12 groups (n=10): G1- DW (distilled water); G2-DW+US; G3-17% EDTA; G4-17% EDTA+US; G5-17% GA (glycolic acid); G6-17% GA+US; G7-PDT+DW; G8-PDT+DW+US; G9-PDT+17% EDTA; G10-PDT+17% EDTA+US; G11-PDT+17% GA; G12-PDT+17% GA+US. The Kruskal-Wallis and Student-Newman-Keuls tests analyzed push-out and diametral compression values. Pearson's correlation test analyzed the relationship between PO and CD values. The chi-square test analyzed failure patterns. Results: The PO test showed a difference among the experimental groups ( $p < 0.001$ ; power=1.00) for the three substances. When EDTA was used, PDT enhanced bond strength. When GA was used,

---

<sup>1</sup> Influence of different final irrigants, ultrasonic activation and photodynamic therapy on the bonding strength of fiberglass pins to root dentin.

the application of US and PDT increased bond strength. Favorable failure patterns (types 1 and 5) were most frequent in Group 6 (GA+US). There was no relationship among bond strength values between PO and CD tests ( $r=0.112$ ;  $p=0.729$ ), probably due to the large dentin thickness involving the adhesive interface in the CD test. Conclusion: In the PO test, GA, especially associated with US and PDT, increased the bond strength of GFP to root dentin. The GA+US association promoted the most favorable failure patterns. There was no association between PO and CD values, showing that the PO test is more applicable to assess the bond strength of GFP to root dentin.

**Keywords:** Photodynamic therapy.  
Ethylenediaminetetraacetic acid. Glycolic acid. Ultrasound.  
Push-out. Diametral compression.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de retentores intrarradiculares é recomendada quando o dente não apresenta estrutura coronária suficiente para reter uma restauração final (SALAMEH *et al.*, 2008; SCOTTI *et al.*, 2016). Os pinos de fibra de vidro oferecem resistência à flexão e módulo de elasticidade semelhantes à dentina, minimizando as tensões transmitidas à raiz e reduzindo a possibilidade de falhas irreparáveis do elemento dental (LASSILA *et al.*, 2004; COELHO *et al.*, 2009; BARCELLOS *et al.*, 2013).

Os microrganismos desempenham papel fundamental na indução e perpetuação das alterações patológicas que acometem a polpa e os tecidos periapicais (KAKEHASHI *et al.*, 1965). Assim, se faz necessário o uso de irrigantes endodônticos finais e recursos auxiliares que visam contribuir com o processo de descontaminação do sistema de canais radiculares, a exemplo da terapia fotodinâmica (PDT) e ativação ultrassônica (US).

Em relação aos irrigantes endodônticos finais, é possível relatar que existem poucos estudos relacionados ao uso do ácido glicólico em substituição ao EDTA, o que realça a importância dos achados de Cecchin *et al.* (2018), os quais

observaram que o ácido glicólico condicionou de forma satisfatória o esmalte e a dentina, induzindo uma melhora significativa na adesão de materiais restauradores nestas superfícies.

Inicialmente idealizada para o combate ao câncer, a PDT vem ganhando espaço na odontologia devido a sua efetividade antimicrobiana. Tal procedimento tem sido considerado uma nova modalidade para desinfecção dos canais radiculares, envolvendo a associação entre uma fonte de luz por um laser de baixa potência e um fotossensibilizador não tóxico (DE OLIVEIRA *et al.*, 2011). MACHADO *et al.* (2000) demonstram também ser a PDT efetiva no combate aos patógenos endodônticos (GHINZELLI *et al.*, 2014), apresentando, no entanto, ressalvas quanto à qualidade da resistência de união adesiva, necessária para a cimentação de pinos de fibra de vidro intrarradiculares (RAMOS *et al.*, 2018). Por sua vez, a ativação ultrassônica, ocorre através de um dispositivo inserido no interior do canal radicular, promovendo a agitação mecânica da substância química auxiliar ou irrigante final, que serão impulsionadas para as regiões de complexidade anatômica, contribuindo

para a remoção de detritos e de microrganismos do sistema de canais radiculares (VAN DER SLUIS *et al.*, 2007).

Para a avaliação da resistência adesiva, o teste de compressão diametral (CD) está sendo utilizado em comparação ao teste de *push out* (PO). Isso porque o teste de CD induz uma tensão de tração na direção transversal à carga compressiva aplicada, que divide a amostra redonda em duas metades ao longo do diâmetro (HUANG *et al.*, 2012; ZHU *et al.*, 2018). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular através de testes de *push out* e compressão diametral, testando a influência da ativação ultrassônica em diferentes irrigantes finais, associados ou não à terapia fotodinâmica (PDT).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

## **2.1 Soluções irrigadoras finais e Ativação ultrassônica**

### **2.1.1 EDTA**

O ácido etilenodiaminotetracético é um agente quelante muito utilizado na Endodontia após o preparo químico-mecânico dos canais radiculares para remoção da *smear layer* (AHIR *et al.*, 2014). Porém, apresenta algumas características desfavoráveis, como desnaturação de fibras colágenas, erosão da dentina peritubular e intertubular quando utilizado por um período maior que três minutos, e apresenta citotoxicidade quando extravasado aos tecidos periapicais (BARCELLOS *et al.*, 2020).

Torabinejad *et al.* (2002) revisaram as implicações clínicas da *smear layer* em endodontia. Com base nas evidências, os autores concluíram que os métodos atuais de instrumentação do canal radicular produzem uma camada de compostos orgânicos e inorgânicos (*smear layer*) que também pode conter bactérias e seus subprodutos. Essa camada cobre as paredes instrumentadas e pode impedir a penetração da medicação intracanal nos túbulos dentinários. Considerando essas observações, a remoção da *smear layer* pode resultar em uma desinfecção mais completa do sistema de canais radiculares e túbulos dentinários o que garantiria uma melhor

adaptação entre materiais obturadores e as paredes do canal radicular. Métodos atuais de remoção da *smear layer* incluem produtos químicos, ativação ultrassônica (US) e PDT, sendo que nenhuma se apresentou totalmente eficaz.

Shahravan *et al.* (2007) realizaram uma revisão sistemática para determinar se a remoção da *smear layer* aumenta a penetração de diferentes cimentos obturadores com gutapercha em dentes humanos extraídos. Pesquisaram por artigos publicados entre 1975 e 2005, selecionaram 26 artigos elegíveis com 65 comparações; 53,8% das comparações não relataram diferença significativa, 41,5% relataram diferença a favor da remoção da *smear layer* e 4,7% relataram diferença a favor da manutenção. Nas 65 comparações, 44 usaram o teste de extravasamento de corante para avaliação. O efeito combinado nesse grupo mostrou que a remoção da *smear layer* diminui o extravasamento do corante. De acordo com a meta-regressão, o tipo de obturação, o local, a duração do teste, o selador, o corante e o ano de publicação não tiveram efeito nos resultados. Sob as condições desses estudos de extravasamento *in vitro*, os autores concluíram que a remoção da *smear layer* melhora a vedação do sistema

radicular, enquanto outros fatores como a técnica de obturação ou o selador, não produziram efeitos significativos.

Prado *et al.* (2011) compararam a efetividade do ácido fosfórico 37% com EDTA 17% e ácido cítrico 10% na remoção de *smear layer*. Selecionaram cinquenta e dois dentes humanos unirradiculares, os quais foram acessados e instrumentados. Entre cada instrumento utilizado, irrigaram os canais com hipoclorito de sódio. Após a instrumentação, irrigaram os dentes com água destilada e depois dividiram em grupos de acordo com o tempo e as substâncias empregadas. Utilizaram EDTA 17%, ácido cítrico 10% e ácido fosfórico 37%, tendo sido os períodos experimentais de 30 segundos, 1 minuto e 3 minutos. Prepararam as amostras e observaram por meio de microscopia eletrônica de varredura. De acordo com os autores, nenhuma das substâncias analisadas neste estudo foi eficaz removendo a *smear layer* aos 30 segundos. De acordo com os achados, concluíram que a solução de ácido fosfórico poderia ser um agente promissor para remoção da *smear layer*.

Ribeiro *et al.* (2012) avaliaram a remoção de detritos em canais radiculares achatados usando MEV (microscopia

eletrônica de varredura) após o uso de diferentes protocolos de agitação de irrigantes finais. Para o estudo, utilizaram cinquenta incisivos inferiores, os quais foram distribuídos em cinco grupos ( $n = 10$ ) de acordo com o protocolo de agitação de irrigantes: irrigação convencional com seringa e agulha NaviTip (sem ativação), lavagem ativa de irrigantes com agulha NaviTip, irrigação dinâmica manual, PUI contínua e irrigação com pressão negativa apical (sistema EndoVac). Os canais foram irrigados com 5 mL de NaOCl a 2,5% a cada troca de instrumento e receberam uma lavagem final com EDTA 17% por 1 min. Após a instrumentação, as raízes foram divididas longitudinalmente e foi realizado MEV. Com base nos dados analisados, os autores relatam que a ativação dinâmica manual deixou significativamente mais detritos dentro dos canais do que os outros protocolos, enquanto a PUI e o EndoVac foram mais eficazes.

Küçükekenci e Küçükekenci (2019) realizaram um estudo *in vitro*, com o objetivo de comparar a eficácia de irrigantes, à resistência de união pinos de fibra cimentados ao canal radicular com cimento resinoso autoadesivo (SARC). Utilizaram 48 caninos humanos, os quais foram divididos em quatro grupos correspondentes ao processo de irrigação e

foram tratados da seguinte forma: água destilada (DW) (grupo controle), 5ml de NaOCl 5,25%, 5ml de EDTA 17% e 5ml de DW; o grupo irrigação ultrassônica passiva (PUI) foi tratado com 5ml de NaOCl 5,25%, 5ml de EDTA 17% e 5ml de DW, e cada irrigante foi agitado com um inserto ultrassônico; e o grupo de irrigação ativada por *laser* (LAI) foi tratado com 5ml de NaOCl 5,25%, 5ml de EDTA 17% e 5 ml de DW, e cada irrigante foi irradiado com *laser* Nd: YAG. Pinos de fibra foram cimentados com SARC, e o teste de *push out* foi realizado. Quanto a resistência de união, não encontraram diferença estatisticamente significativa entre os grupos experimentais ( $p > 0,05$ ). As regiões coronais (12,66 MPa) e médias (11,63 MPa) das raízes indicaram um valor de resistência de união maior em comparação com a região apical (9,16 MPa) ( $p < 0,05$ ). Concluíram que os métodos de ativação dos irrigantes não aumentaram a resistência de união do pino de fibra à dentina com SARC.

### **2.1.2 Ácido glicólico**

O ácido glicólico apresenta uma estrutura alfa hidroxil, similar ao ácido cítrico e ao ácido maleico, possui ação esfoliante superficial e de média profundidade (KATOAKA *et al.*, 2001). Já foi observado que o GA possui capacidade de

remover *smear layer*, sendo menos citotóxico que o EDTA (DAL BELLO *et al.*, 2019). Contribui para uma melhora na adesão de materiais restauradores, pela sua capacidade de condicionar esmalte e dentina (CECCHIN *et al.*, 2018). Por se tratar de um ácido biodegradável, com pH estável, pode ser um promissor irrigante endodôntico (DAL BELLO *et al.*, 2020).

Dal Bello *et al.* (2019) investigaram os efeitos do ácido glicólico (GA) na microdureza, rugosidade, distribuição do conteúdo mineral da dentina, remoção da *smear layer* e citotoxicidade. Para o estudo, selecionaram cem dentes humanos, os quais foram divididos aleatoriamente em seis grupos: água destilada (DW - grupo controle), EDTA 17%, ácido cítrico 10% (CA), GA 5%, GA 10% e GA 17%. Para a análise, foi utilizada espectroscopia de raios X dispersiva em energia (EDS). Observaram a menor microdureza e maior rugosidade em GA 17%. O GA mostrou ser capaz de remover a *smear layer* em um nível semelhante ao EDTA e CA, sem diferença estatística entre as concentrações utilizadas. O GA e o CA mostraram ser citotóxicos de maneira dose dependente. Concluíram que o GA mostrou potencial como agente endodôntico para irrigação final.

Dal Bello *et al.* (2020) tiveram como objetivo determinar o tamanho da partícula de ácido glicólico (GA), pH e tensão superficial para caracterizar o pó e as soluções de GA, e examinar os efeitos do mesmo na desnaturação do colágeno e na força flexural da dentina mineralizada. O tamanho das partículas e o EDS de GA foram realizados para análise química. Os autores avaliaram a tensão superficial e os níveis de pH das soluções de EDTA, CA e GA em diferentes épocas e temperaturas. Os feixes de dentina em pó e dentina mineralizada foram imersos por 1 min em soluções EDTA, CA ou GA e submetidos à espectroscopia infravermelha transformada de Fourier para análise da razão apatita/colágeno e teste de flexão de 3 pontos, respectivamente. Concluíram que o GA apresentou o maior tamanho de partícula ( $\mu\text{m}$ ), e sua tensão superficial foi semelhante à do EDTA e CA. A tensão superficial diminuiu em soluções de maiores concentrações, o GA mostrou estabilidade do pH em todos os momentos e temperaturas avaliadas. A relação apatita /colágeno diminuiu com o aumento das concentrações de GA, enquanto a força flexural não foi significativamente afetada pela concentração de GA.

Portanto, o GA parece ser uma boa escolha como solução final de irrigação após a preparação do canal radicular.

Barcellos *et al.* (2020) avaliaram os efeitos do GA (com pH 1, 2 e 5) e do EDTA nas propriedades químicas e mecânicas da dentina para investigar o potencial uso do GA como irrigante final na terapia endodôntica. Analisaram alterações na microdureza, remoção da *smear layer*, erosão, distribuição do conteúdo mineral, razão apatita/colágeno e resistência à flexão da dentina mineralizada tratada com GA. Feixes de dentina foram utilizados para o teste de resistência flexural de 3 pontos ( $\sigma$ ). Imagens de microscopia eletrônica de varredura (SEM) para avaliação da remoção da *smear layer* e erosão dentinária nos segmentos radiculares e espectroscopia de energia dispersiva por raios X (EDS) para distribuição de conteúdo mineral. A dentina radicular tratada com EDTA e GA apresentou KHN semelhante, independentemente do pH ( $p > 0,05$ ). No entanto, a KHN foi significativamente reduzida nos grupos EDTA e GA quando comparada ao grupo controle ( $p < 0,001$ ). O GA mostrou a mesma capacidade de remover a *smear layer* e causar erosão da dentina que o EDTA. Os resultados da EDS mostraram que as soluções GA e EDTA não alteraram a distribuição do

conteúdo mineral da dentina. Os autores concluíram que o GA tem capacidade semelhante ao EDTA para remover a *smear layer*, e que o GA não afeta negativamente as propriedades químico/mecânicas e não aumenta a erosão da dentina; concluem ainda que o uso de GA com pH baixo parece promover menos alterações na relação colágeno/apatita, mas são necessários mais estudos para estabelecer um protocolo clínico ideal.

### **2.1.3 Ativação ultrassônica**

A ativação ultrassônica pode ser definida como a ativação de um instrumento endodôntico por um dispositivo ultrassônico, o qual é inserido no interior do canal radicular promovendo a agitação mecânica da substância química auxiliar ou irrigante final, que serão impulsionados para as regiões de complexidade anatômica, contribuindo para a remoção de detritos e de microrganismos do sistema de canais radiculares (VAN DER SLUIS *et al.*, 2007).

Calt e Serper, em 2002, avaliaram os efeitos do EDTA na remoção da *smear layer* e na estrutura da dentina, após 1 e 10 minutos de aplicação. Selecionaram seis dentes unirradiculares, os quais foram instrumentados até lima

#60. Irrigaram, com 10 ml de solução de EDTA a 17%, metades pertencentes à mesma raiz, por 1 e 10 min, respectivamente. De acordo com os resultados, 1 min de irrigação com EDTA é eficaz na remoção da *smear layer*. No entanto, uma aplicação de 10 minutos de EDTA causou erosão dentinária peritubular e intertubular excessiva.

Van der Sluis *et al.* (2007) realizaram uma revisão de literatura sobre PUI (irrigação ultrassônica passiva) no banco de dados MEDLINE. A PUI pode ser um complemento importante para a limpeza do sistema do canal radicular e, comparado com a irrigação tradicional (com seringas), remove mais tecido orgânico, bactérias e restos de dentina do mesmo. Os autores enfatizam que a PUI é mais eficiente na limpeza de canais do que na irrigação ultrassônica com instrumentação ultrassônica simultânea, e também pode ser eficaz em canais curvos e um fio liso pode ser tão eficaz quanto uma lima tipo K. Consideraram como sendo parâmetros importantes a conicidade e o diâmetro do canal radicular na determinação das eficácias da remoção de detritos dentinários. Encontraram na literatura que a irrigação com hipoclorito de sódio é mais eficaz do que com água e a irrigação por ultrassom é mais eficaz que a irrigação sônica

na remoção de detritos de dentina do canal radicular. Contudo, os autores relatam que o papel da cavitação durante a PUI permanece inconclusivo e que nenhuma informação detalhada está disponível sobre a influência do tempo de irrigação, o volume do irrigante, a profundidade de penetração do instrumento e as propriedades de forma e material do instrumento.

Ekim e Erdemir (2015), avaliaram o efeito de vários protocolos finais de ativação do irrigante na resistência de união do pino de fibra. Selecionaram trinta e dois incisivos centrais superiores, os quais foram seccionados abaixo da junção cimento-esmalte, instrumentados, obturados e divididos aleatoriamente em oito grupos (n=4), de acordo com os protocolos finais de ativação do irrigante; água destilada foi utilizada como controle no grupo 1, os demais grupos tiveram como irrigantes finais NaOCl 2,5% e EDTA 17%. A irrigação convencional, sem ativação, foi usada no grupo 2. As soluções de irrigação foram ativadas usando irrigação ultrassônica passiva (PUI, grupo 3), pressão negativa apical EndoVac (ANP, grupo 4), laser de diodo (grupo 5), neodímio: laser de ítrio-alumínio-granada (Nd:YAG) (grupo 6), érbio: laser de ítrio-alumínio-granada

(Er:YAG) (grupo 7) e laser de Er:YAG usando a técnica de fluxo fotoacústico induzido por fóton (PIPS) (grupo 8). Em todos os grupos, os pinos de fibra foram cimentados utilizando Panavia F 2.0 (Kuraray, Osaka, Japão). De acordo com os autores, a maior resistência de união foi obtida no grupo de irrigação ativado por laser PIPS.

De Castro *et al.*, em 2016, avaliaram o efeito do tempo e da PUI do EDTA na remoção da *smear layer* no canal radicular. Selecionaram 60 incisivos inferiores bovinos. Adicionaram *smear layer* na superfície da dentina radicular, e dividiram os espécimes em seis grupos, de acordo com os seguintes protocolos finais de irrigação: Grupo (G)1: irrigação convencional com hipoclorito de sódio (NaOCl); G2: irrigação convencional com NaOCl+EDTA por 20s; G3: irrigação convencional com NaOCl+EDTA por 60s; G4: PUI com NaOCl; G5: PUI com NaOCl+PUI com EDTA por 20s; G6: PUI+NaOCl e PUI com EDTA por 60s. Analisaram as amostras por SEM, e os resultados pelo teste de correlação de Pearson e os testes não paramétricos ANOVA de Kruskal Wallis e Dunn para as comparações. De acordo com os resultados, as amostras irrigadas apenas com NaOCl (G1 e G4) apresentaram escores mais elevados quando comparadas

aos outros grupos. G5 e G6, irrigados com EDTA 17% e PUI, tiveram menores escores. Porém, não houve diferença estatisticamente significativa no G2 e G3, onde não houve irrigação. Portanto, os autores concluíram que a irrigação com EDTA 17% por 20s promoveu a remoção efetiva da *smear layer*, independente da PUI.

Souza *et al.* (2019) avaliaram a influência dos protocolos finais de irrigação e do tipo de cimento resinoso na resistência de união de pinos de fibra de vidro (GFPs) em dentina radicular previamente tratada com terapia fotodinâmica (PDT). Para o estudo, cem canais foram preparados para pinos de fibra de vidro, em seguida foram submetidos à PDT e divididos em cinco grupos (n=20), sendo eles, água destilada + ativação ultrassônica (US); EDTA 17%; QMix; EDTA 17%+US; QMix+ US. Dividiram cada grupo em 2 subgrupos (n = 10), de acordo com o tipo de cimento resinoso utilizado: Rely-X ARC; ou Rely-X U200 (3M, St Paul, MN, EUA). Os autores concluíram que o uso de US na irrigação final melhorou a resistência de união dos GFPs, enquanto o tipo de cimento resinoso (duplo ou autoadesivo) não influenciou a resistência de união dos GFPs em dentina radicular previamente tratada com PDT.

Barreto *et al.* (2022) avaliaram a influência de três técnicas finais de irrigação endodôntica, sendo elas, irrigação com pressão positiva (IPP), irrigação ultrassônica passiva (PUI) e irrigação ultrassônica contínua (CUI) e dois irrigantes, sendo eles, hipoclorito de sódio 5,25% (NaOCl) e 2% de clorexidina (CHX) na resistência ao *push out* de pinos de fibra de vidro. Selecionaram, noventa raízes bovinas, as quais foram preparadas e divididas em seis grupos (n=15), sendo eles, IPP+NaOCl 5,25%, PUI+NaOCl 5,25%, CUI+NaOCl 5,25%, IPP+CHX 2%, PUI+CHX 2%, e CUI+CHX 2%. Após o preparo dos canais, os pinos de fibra foram cimentados com cimento resinoso dual-core. Seccionaram as raízes em fatias de 1 mm de espessura (terços coronal, médio e apical), e, após 7 dias de armazenamento em água destilada, as fatias foram submetidas ao teste de *push out*. Os autores concluíram que independentemente da solução irrigadora, todos os grupos tiveram bons resultados quanto a resistência de união, respondendo positivamente ao uso da terapia ultrassônica.

## **2.2. Terapia Fotodinâmica (PDT)**

A terapia fotodinâmica (PDT) consiste em três elementos: fotossensibilizador, luz e oxigênio. O fotossensibilizador não tóxico tem a propriedade de acumulação seletiva em tecidos anormais ou infectados sem causar qualquer dano às células saudáveis. O mesmo é estimulado por uma luz laser de baixa intensidade que reage com as moléculas de oxigênio, gerando espécies reativas de O<sub>2</sub>. Estas espécies agem com componentes celulares bacterianos por meio de oxidação ou reação de redução, induzindo a morte dos microrganismos (WAINWRIGHT, 1998).

Esse método terapêutico já foi adaptado com sucesso em muitos campos da área da saúde, na medicina, como a dermatologia, ginecologia, urologia e oncologia. Nos últimos anos, a odontologia também iniciou o uso desta terapia na cavidade oral. Na endodontia, as propriedades antibacterianas e fungicidas do fotossensibilizador têm sido utilizadas para obter melhores resultados, como um coadjuvante na desinfecção dos canais radiculares, utilizada na terapia periodontal e na erradicação da candidíase em próteses (DOLMANS *et al.*, 2003; PRAZMO *et al.*, 2016).

A PDT é definida como uma reação entre fotossensibilizadores (azul de metileno, violeta genciana, entre outros) e luz, gerando efeito citotóxico através de reações oxidativas, onde um agente químico (corante) é utilizado e ativado por luz (sensitização), causando morte celular, principalmente, por apoptose. Gera um processo fotoquímico, em que a excitação eletrônica do sensibilizador provoca dois mecanismos: tipo I – transferência de elétrons - e tipo II – transferência de energia. No mecanismo tipo I, há a formação de produtos oxidados e ocorre em cerca de 5% da reação. Nos outros 95%, ocorre o mecanismo tipo II, mais desejável e responsável pela apoptose (MACHADO *et al.*, 2000; LACERDA *et al.*, 2013). Os lasers são a fonte de luz mais utilizada na PDT, pois permitem a ocorrência de interação fotobiológica, ou seja, emitem um comprimento de onda específico, facilitando assim a escolha do fotossensibilizador, bem como a profundidade de penetração de luz no tecido, sendo preconizado, para tecidos biológicos, comprimento de onda entre 660nm (vermelho) a 1000 nm (infravermelho). Uma forma de garantir a presença de oxigênio durante a PDT é acoplado uma fibra óptica à ponta do laser, deslocando-a no interior do sistema de

canais radiculares em movimentos helicoidais, de apical para cervical e vice-versa, durante todo o processo da irradiação. A aplicação da PDT apresenta diversas variáveis, como o corante a ser utilizado, o tipo de luz ou o tempo de irradiação. Os autores concluíram que a PDT pode ser uma terapia coadjuvante ao preparo químico mecânico durante o tratamento dos canais radiculares, contribuindo de forma efetiva na descontaminação do sistema de canais radiculares, elevando a taxa de sucesso. Todavia, pesquisas futuras, *in vivo* e *in vitro* são necessárias, com intuito de testar e esclarecer os parâmetros a serem utilizados (LACERDA *et al.*, 2013).

Schaeffer *et al.* (2019) realizaram uma revisão de literatura a respeito do uso da PDT na endodontia. Concluíram que a utilização do *laser* vem sendo cada vez mais difundida nas práticas odontológicas, não sendo diferente na endodontia. Enfatizam que a PDT é um coadjuvante ao tratamento endodôntico convencional, viabilizando a eliminação de microrganismos persistentes após o preparo químico mecânico do sistema de canais radiculares. Porém, ainda não foi estabelecido um protocolo em relação aos parâmetros a

serem utilizados, ratificando a necessidade de mais pesquisas científicas sobre o assunto.

Souza *et al.* (2017) avaliaram a influência da ativação ultrassônica (US) do irrigante final na remoção do fotossensibilizador das paredes do canal radicular após PDT. Foram preenchidos os canais radiculares de 60 dentes unirradiculares bovinos, com 0,01% de azul de metileno e submetidos à PDT por 90s. Logo após, foram divididas as raízes em 6 grupos (n=10), de acordo com o protocolo final de irrigação: água destilada (DW), DW + US, EDTA 17% + US e QMix+US. Logo após, as amostras foram submetidas à SEM, na qual foi usado um sistema de escores para avaliar as imagens e a efetividade dos tratamentos propostos nas regiões cervical, média e apical da raiz. Foram mais eficazes os tratamentos com EDTA 17%+US e QMix+US na remoção do fotossensibilizador em todas as regiões do canal radicular ( $p<0,05$ ). Na análise intragrupos não houve diferenças significativas, comparando a eficácia nas diferentes regiões do mesmo grupo ( $p<0,05$ ). Sendo assim, foi concluído que o US pode auxiliar o EDTA 17% e QMix na eliminação do fotossensibilizador após PDT e favorecer na limpeza das paredes dos canais radiculares.

Souza *et al.* (2018) avaliaram a atividade antimicrobiana de soluções de hipoclorito e instrumentação recíproca associada à PDT. Foram preparados 132 canais radiculares (#35 K) e inoculados por 14 dias com *E. faecalis*. As amostras foram divididas aleatoriamente em 11 grupos (n=12) e submetidas aos seguintes protocolos: G1- Água destilada+Recíproca R40 (controle), G2- 1% hipoclorito de sódio (NaOCl)+Recíproca R40, G3- NaOCl 2,5%+Recíproca R40, G4- 1% de hipoclorito de cálcio (Ca[OCl]<sub>2</sub>)+Recíproca R40, G5- 2,5% Ca(OCl)<sub>2</sub>+Recíproca R40, G6- PDT; G7- Água destilada+Recíproca R40+PDT, G8- 1% NaOCl+Recíproca R40+PDT, G9- NaOCl 2,5%+ Recíproca R40+PDT, G10- 1% Ca (OCl)<sub>2</sub>+Recíproca R40+ PDT, G11- 2,5% Ca (OCl)<sub>2</sub>+Recíproca R40+PDT. Foi verificada a porcentagem de redução bacteriana pela contagem das unidades formadoras de colônia (UFCs) em 10 amostras de cada grupo. Foram submetidas à MEV as 2 amostras restantes de cada grupo para ilustrar a efetividade dos tratamentos propostos. Os dados foram submetidos a ANOVA one-way seguido pelo teste post hoc de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Foi observada a maior capacidade de promover a redução bacteriana, sem diferença significativa entre eles (p

< 0,05), no G8, G9, G10 e G11. Então, concluíram que a associação de PDT com soluções de hipoclorito e instrumentação recíproca possibilita a eliminação efetiva de *E. faecalis*.

Sahyon *et al.* (2018) avaliaram “*in vitro*” a influência da PDT na resistência de união de pinos de fibra de vidro utilizando o teste *push out* e, posteriormente, mediram a dureza Martens e o módulo de indentação elástica de dentina intrarradicular quando diferentes fotossensibilizadores são utilizados. Foram utilizados oitenta dentes bovinos, e em todos os canais radiculares foi realizada a instrumentação biomecânica. Os dentes foram distribuídos em 5 grupos: controle deionizado; azul de metileno 50 mg / L+laser vermelho; azul de metileno 100 mg/L+laser vermelho; curcumina 500 mg/L+LED azul; e curcumina 1000 mg/L+LED azul. Utilizando um aparelho de ultramicro-dureza sob carga de 3 mN (n = 8), foram medidos a dureza Martens e o módulo de indentação elástica da dentina intrarradicular. Usando MEV, as imagens de espécimes representativas foram obtidas. Em geral, a curcumina promoveu menores valores de propriedades mecânicas, mas maiores valores de resistência de união, porém o fotossensibilizador utilizado interferiu na dureza

Martens e na resistência de união da dentina intrarradicular. Portanto, os fotossensibilizadores influenciaram as propriedades mecânicas da dentina intrarradicular e a resistência de união dos pinos de fibra de vidro, sendo que o azul de metileno a 50 mg/L não teve efeito marcante nas propriedades mecânicas da dentina ou nos valores de resistência de união.

Ramos *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da PDT nos protocolos de cimentação usando cimento resinoso convencional (Relyx ARC) ou autoadesivo (Relyx U200) na cimentação do pino de fibra de vidro. Quarenta raízes de caninos humanos foram preparadas para a inserção pinos de fibra. As raízes foram divididas em 4 grupos de acordo com o protocolo de cimentação e uso de PDT: cimento convencional (CC), Relyx ARC; Relyx U200; PDT/CC, PDT+Relyx ARC; e PDT/SAC, PDT + RelyxU200. Após a cimentação dos pinos de fibra, as raízes foram seccionadas e, em seguida, amostras dos terços cervical, médio e apical do espaço protético foram obtidos. Os espécimes foram submetidos ao teste de *push out* e avaliação da penetração dentinária do protocolo de cimentação por microscopia confocal a *laser*. PDT/CC apresentou a menor força de união

das raízes no terço cervical. Nos terços médio e apical, todos os grupos apresentaram resistência de união semelhante. PDT/CC apresentou a menor penetração dentinária do sistema adesivo em terços cervical e apical. A PDT apresentou efeitos negativos na resistência adesiva à dentina no terço cervical após cimentação com o Relyx ARC e na penetração dentinária do sistema adesivo CC nos terços cervical e apical do espaço protético.

Alonizan *et al.* (2019) avaliaram a resistência de união através de *push out* e os modos de falha de pinos de fibra usando terapia fotodinâmica (PDT), *laser* Er, Cr: YSGG e limpeza e modelagem convencionais (CCS). Sessenta dentes anteriores superiores foram seccionados horizontalmente a 2 mm da junção cimento-esmalte e o canal radicular foi preparado para receber os pinos. Os pinos de fibra foram submetidos ao *laser* PDT, Er, Cr: YSGG e CSS com 20 amostras em cada grupo. Os espécimes obtidos foram seccionados em cortes cervical e apical. A maior força média de adesão ao *push out* foi alcançada pelo grupo PDT e a mais baixa foi demonstrada pelas amostras no grupo CCS. Vinte e uma falhas foram encontradas na interface entre o adesivo e a superfície da dentina, 6 falhas foram observadas na

interface entre o adesivo e o pilar, enquanto cinco falhas foram mistas. A resistência de união do material restaurador à dentina do canal radicular não foi afetada por Er, Cr: YSGG em comparação com a limpeza e modelagem convencionais. No entanto, a PDT produziu o menor número de modos de falha e resistência da união um pouco maior à dentina radicular.

Ahdal *et al.* (2020) avaliaram o efeito de diferentes fotossensibilizadores na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular. Para o estudo, selecionaram quarenta incisivos centrais, superiores e inferiores, os quais foram desinfetados e decoronados. Instrumentação mecanizada foi realizada com o sistema ProTaper, e irrigação contínua. Após, os canais foram secos e obturados. Dividiram as amostras em três grupos, de acordo como fotossensibilizador utilizado, grupo 1: tratado com fotossensibilizador azul de metileno (MBP) a 50 mg/l, grupo 2: fotossensibilizador curcumina (CP) a 500 mg/l, grupo 3: fotossensibilizador azul de toluidina (TB) a 100 mg/l. As amostras do grupo 4 (controle) foram irrigadas com NaOCl 5,25% + EDTA 17%. De acordo com os resultados, a maior resistência de união foi alcançada no grupo 2, a menor

resistência de união por extrusão foi observada no grupo 4. Com base nos resultados apresentados, os autores concluíram que TB e CP na concentração de 100 mg/l e 500 mg/l tem potencial para serem usados como alternativa para limpeza dos canais radiculares, e nesta concentração, quando ativados com PDT, provavelmente melhorarão os valores de resistência de união.

Strazzi–Sahyon *et al.* (2020) avaliaram a influência da PDT com um fotossensibilizador (azul de metileno) na dureza de Martens, módulo de elasticidade e resistência de união de pinos de fibra de vidro em diferentes terços da dentina intraradicular. Oitenta dentes bovinos foram divididos em cinco grupos: um controle com água deionizada e quatro outros grupos de acordo com a concentração de azul de metileno (50 mg / L ou 100 mg / L) e tratamento de substrato (com ou sem ação do *laser* vermelho). Em geral, o azul de metileno em concentrações distintas, com ou sem ação do *laser*, não causou diferenças nas propriedades mecânicas ou na resistência de união em diferentes regiões da dentina radicular ( $P>0,05$ ). O azul de metileno em concentração mais alta, ativado com *laser*, produziu valores mais baixos de resistência de união no terço médio do canal radicular (P

<0,05). O azul de metileno a 50 mg/L não influenciou nas propriedades mecânicas do dente bovino e na resistência de união dos pinos de fibra de vidro à dentina intrarradicular.

Vohra *et al.* (2020) avaliaram a influência da PDT e da irrigação ativada por luz (IAF) usando diferentes protótipos a *laser* Er, Cr: YSGG (ECYL), Er: Yag (EYL), NdYag (NYL) na resistência de união de pino de fibra de vidro à dentina radicular. Os canais radiculares, de 50 dentes, foram instrumentados pela técnica coroa ápice. A instrumentação dos canais foi realizada utilizando ProTaper S1, SX. Limas F1, F2 e F3 foram utilizadas para o acabamento das preparações do canal. Os canais radiculares foram secos e obturados. Os dentes foram colocados verticalmente dentro da seção de tubos de polivinil usando resina acrílica. A preparação do espaço para colocação de pino foi concluída usando brocas largo. Com base na PDT e na irrigação ativada a *laser* (IAF) com diferentes protótipos as amostras foram divididas em cinco grupos de 10 amostras cada. Grupo 1- PDT, Grupo 2- NaOCl 5,25% e EDTA 17%, Grupo 3- NaOCl 5,25% com EDTA 17% e NYL, Grupo 4- NaOCl 5,25% com EDTA 17% e EYL; e Grupo 5- NaOCl 5,25%+ EDTA 17% e ECYL. Os pinos de fibra foram alocados nos

canais radiculares com cimento autocondicionante e os dentes foram seccionados em três níveis (apical, médio e cervical). O teste de *push out* foi realizado colocando as amostras na máquina de testes universal. A maior força de união foi observada no grupo 5, nos três níveis, coronal, médio e apical. A menor força de união foi demonstrada pelo grupo 2 em todos os níveis. O IAF com diferentes protótipos a *laser* melhorou os valores das ligações *push out* do PFRC pós-dentina radicular como um complemento ao tratamento com NaOCl e EDTA. A PDT melhorou a resistência ao *push out* em comparação com o método convencional de limpeza de canais.

Kuden e Karakas (2021) compararam a resistência de união de pinos de fibra utilizando dois cimentos resinosos, após utilizar terapia fotodinâmica, ozônio gasoso e solução desinfetante convencional. Para o estudo utilizaram cem incisivos superiores tratados endodonticamente. As raízes foram distribuídas em 5 grupos, de acordo com a solução desinfetante, NaOCl de 2,5%+EDTA 17% no grupo 1, CHX 2% no grupo 2, azul de toluidina+laser de diodo como PDT no grupo 3, ozônio no grupo 4 e água destilada no grupo 5 (grupo controle). Dividiram cada grupo em dois subgrupos

de acordo com os tipos de adesivos e os pinos foram cimentados com RelyX e LinkForce. Utilizaram o teste de *push out* para calcular a resistência de união. De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que o grupo da PDT apresentou os melhores resultados quando cimentados com LinkForce, em todos os níveis, e foi significativamente maior do que os grupos Ozônio e DW. Os grupos com NaOCl e ozônio apresentaram melhores resultados quando cimentados com RelyX e essa diferença foi significativa de acordo com o grupo DW. Portanto, todos os grupos melhoraram a resistência de união do pino de fibra em ambos os tipos de cimento resinoso.

Diante do exposto, os estudos supra mencionados e representados em sua maioria por pesquisas laboratoriais *in vitro*, com diferentes parâmetros, demonstram que a utilização da PDT em canais radiculares tem sido apontada como opção coadjuvante à terapia endodôntica, com o objetivo de maximizar a desinfecção do canal radicular. Porém, para que esta seja empregada com total eficácia, sem interferir na adesão à dentina radicular, é importante a realização de estudos adicionais.

## **2.3 Métodos de avaliação da resistência adesiva de pinos intrarradiculares**

### **2.3.1 Teste de Compressão Diametral**

O teste de CD induz uma tensão de tração na direção transversal à carga compressiva aplicada, que divide a amostra redonda em duas metades ao longo do diâmetro. A tração é o método mais adequado para avaliar a resistência de união das amostras (HUANG *et al.*, 2012; ZHU *et al.*, 2018). Huang *et al.* (2012) relataram ser necessários novos métodos que possam prever a falha clínica de restaurações dentárias que dependem principalmente de ligação dentinária, e que os métodos existentes têm deficiências, por exemplo, desvio grave na distribuição real de tensão e um grande desvio-padrão na resistência de união. Portanto, os autores apresentaram uma nova amostra de teste examinando um modelo endodôntico para a adesão à dentina. Avaliaram a viabilidade do uso do teste de compressão diametral para medir a ligação na interface da dentina. Quatro grupos de discos de resina composta que continham uma fatia de dentina com ou sem um pilar intracanal no centro foram testados sob compressão diametral até a fratura. Usaram a

correlação (DIC) de forma inovadora para capturar o processo de fratura em tempo real; DIC mostrou concentração de tensões aparecendo primeiro em um dos lados da interface pós-dentina. A aparência da concentração de tensão interfacial também coincidiu com o primeiro sinal detectado. Utilizaram tanto os dados experimentais quanto a análise de elementos finitos. As resistências de tração / tração foram calculadas para: 11,2 MPa (pinos de fibra), 12,9 MPa (pinos de metal), 8,9 MPa (restaurações diretas de resina) e 82,6 MPa para dentina. Assim, estabeleceram a viabilidade de usar o disco composto na compressão diametral para medir a força de união entre os pinos intracanal e a dentina. Concluíram que o novo método tem as vantagens de simplificar a preparação da amostra, sem falha prematura, modo de falha mais consistente e variações menores na resistência de união calculada.

Zaytsev e Panfilov (2014) relataram o comportamento de deformação sob compressão uniaxial do esmalte humano e da junção dentina-esmalte (DEJ), em comparação com a dentina humana. Este esquema de deformação permitiu estimar a resposta total de todos os níveis do material em contraste com a indentação, que são limitados pelas escalas

mesoscópicas e microscópicas. Foi demonstrado pela primeira vez que o esmalte dentário demonstra força de até 1850 MPa (tecido duro), sendo capaz de gerar alguma deformação elástica (até 8%) e plástica (até 5%) sob compressão. Ao fazer isso, é uma substância quase indeformável sob a condição de fluência. As propriedades mecânicas do esmalte humano dependem da geometria da amostra. A dentina humana exhibe a deformação semelhante sob compressão, mas os valores de sua elasticidade (até 40%) e plasticidade (até 18%) são muito mais, enquanto sua força (até 800 MPa) é menor em duas vezes. Apesar da diferença nas propriedades mecânicas, o esmalte é capaz de suprimir as rachaduras da dentina. Esta característica permite que um dente seja elástico-plástico (como dentina) e resistente ao desgaste (como esmalte), simultaneamente.

Zaytsev (2015) teve como objetivo de estudo determinar a verdadeira resistência à compressão e o coeficiente de Poisson da dentina humana. Foi mostrado que o efeito da forma é principalmente causado pelo atrito entre a superfície da amostra e as placas de compressão. Razão  $d / h = 4$  é a ótima proporção entre a diagonal da superfície de compressão e a altura da amostra de dentina para testar

compressão. A deformação não homogênea ocorreu na amostra com uma razão de aspecto baixa, enquanto a deformação lateral foi suprimida na amostra com uma razão de aspecto alta. Existiu uma diferença significativa entre o convencional, resistência à compressão e a verdadeira resistência à compressão. De acordo com o que foi observado pelo autor, as amostras em teste de compressão mostraram que o efeito da forma na dentina humana é causado principalmente pela fricção entre a superfície da amostra e a placa de compressão. A deformação não homogênea ocorre na amostra com baixa razão de aspecto, enquanto a deformação lateral é dificultada na amostra com alta proporção de aspecto. Razão  $d/h = 4$  é a proporção ideal entre a diagonal e a altura das amostras de dentina no teste de compressão. Há uma diferença significativa entre os valores convencionais de resistência à compressão e a verdadeira resistência à compressão em dentina humana. A verdadeira resistência à compressão da dentina humana é  $432 \pm 16$  MPa, o módulo de Young é  $4,04 \pm 0,12$  GPa e o coeficiente de Poisson de dentina humana é  $0,14 \pm 0,04$ .

Li *et al.* (2015) buscaram estabelecer a relação entre carga cíclica e vida de fadiga da interface dentina-compósito

usando o disco recém-desenvolvido em testes de compressão diametral. Através dos resultados estimaram a vida em fadiga de dentes restaurados sob condições oclusais. Para o estudo prepararam discos de espécimes (5 mm de diâmetro x 2 mm de espessura) usando incisivos bovinos, os quais foram restaurados com um composto à base de metacrilato Z100<sup>TM</sup> com Adper Single Bond Plus (Z100) ou composto à base de silorano Filtek<sup>TM</sup> LS com adesivo LS System (LS). Após preparados, os discos de dentina foram testados sob compressão diametral cíclica para determinar o número de ciclos até a falha (Nf) em três níveis de carga (n = 3 por grupo). Usaram a análise de elementos finitos (FEA) para calcular as tensões interfaciais dentro da amostra. Nf, e aquelas dentro de um dente restaurado sob forças normais de mastigação (15 N máximo). Estes foram usados para estimar a vida útil do dente restaurado para os dois sistemas restauradores. Os resultados demonstraram que os discos restaurados com LS apresentaram maior resistência à fadiga do que aqueles restaurados com Z100. A tensão interfacial máxima no dente restaurado determinada por FEA foi de  $\pm 0,5$  MPa. Com base na estimativa de 300.000 ciclos de mastigação por ano, determinaram que a vida útil prevista

sob a carga oclusal para dentes restaurados com LS e Z100 foi de 33 e 10 anos, respectivamente. Concluíram que o disco em compressão diametral cíclica foi usado com sucesso para fornecer dados de fadiga que permitem a vida útil dos dentes restaurados por compósito sob carga oclusal a ser previsto usando simulação numérica.

Zaytsev (2016) buscou determinar as causas do efeito de forma no esmalte de dente humano sob compressão e correção das características mecânicas relevantes. Para tanto, selecionou seis grupos de amostras com diferentes proporções da diagonal da superfície de compressão à altura da amostra, que consistia em 10 amostras cubóides em cada, as quais foram preparadas a partir do esmalte humano. Mostrou que a relação entre as deformações laterais e axiais diminuem com um aumento na proporção da diagonal da superfície de compressão para a altura da amostra. De acordo com o autor, isso é causado pelo atrito entre as placas de compressão e as superfícies de trabalho da amostra de esmalte quando a deformação lateral é suprimida. Além disso, a inclinação da amostra de esmalte por cerca de  $15^\circ$  ocorreu durante a compressão devido à inclinação dos prismas de esmalte rígidos e pouco deformáveis. As

correções do módulo de elasticidade e da resistência à compressão, levando em consideração a deformação lateral e a inclinação das amostras, foram realizadas. As propriedades mecânicas das amostras de esmalte com proporção de 2,1 estão mais próximas das propriedades intrínsecas de amostras de esmalte humano. O módulo de elasticidade e a resistência à compressão do esmalte sob compressão são 5,64 GPa e 363 MPa, respectivamente. A deformação lateral (~10%) pode ser considerada como o parâmetro crítico que indica a resistência do esmalte humano.

Carrera *et al.* (2016) tiveram como objetivo de estudo apresentar uma variante do teste de compressão diametral (BDT) para avaliação da resistência de união entre resinas compostas e dentina. Para o estudo utilizaram discos compostos de dentina (f 5 mm 2 mm), os quais foram preparados usando Z100 ou Z250 (3M ESPE) em combinação com um dos três adesivos, Adper Easy Bond (EB), Adper Scotchbond Multi-Purpose (MP) e Adper Single Bond (SB), e foram testados sob compressão diametral. Emissão acústica (AE) e correlação de imagem digital (DIC) foram usadas para monitorar a remoção do compósito do anel de dentina. O modo de fratura foi examinado por microscopia

eletrônica de varredura (MEV). Através dos resultados, notou-se que a maioria dos espécimes fraturou ao longo da interface do compósito dentina-resina. DIC e AE confirmaram descolamento interfacial imediatamente antes da fratura do anel de dentina. Os resultados mostraram que o vínculo médio de força com EB (14,9 ± 1,9 MPa) foi significativamente maior do que com MP (13,2 ± 2,4 MPa) ou SB (12,9 ± 3,0 MPa) ( $p < 0,05$ ); não encontraram nenhuma diferença significativa entre MP e SB ( $p > 0,05$ ). Z100 (14,5 ± 2,3 MPa) apresentou maior resistência de união do que Z250 (12,7 ± 2,5 MPa) ( $p < 0,05$ ). A maioria das amostras (91,3%) apresentou um modo de falha adesiva. EB falhou principalmente na interface do adesivo dentinário, enquanto que MP na interface do adesivo composto, as amostras com SB falharam no adesivo composto interface e coesivamente no adesivo. Concluíram que a variante BDT mostrou-se uma alternativa adequada para medir a resistência de união entre dentina e compósito, com falha prematura zero, variabilidade reduzida nas medições, e falha consistente na interface dentina-compósito.

Li *et al.* (2017) avaliaram um método de teste de fadiga acelerada, e utilizaram uma carga continuamente crescente

para testar a resistência adesiva dentina-resina composta. Para o estudo, discos de compósitos - dentina (5 mm × 2 mm) foram realizados a partir de raízes de incisivos bovinos, os quais foram submetidos a compressão diametral cíclica com uma amplitude de carga cada vez maior. Foram considerados dois perfis de carga diferentes, lineares e não lineares, em relação ao número de ciclos. Analisaram os dados através de um modelo probabilístico de falhas baseado na Teoria dos Links Mais Fracos e a função clássica de estresse-vida, antes de ser transformada, em simular dados clínicos de restaurações diretas. Como resultado, apresentaram que todos os dados experimentais podem estar bem equipados com uma função Weibull de 2 parâmetros. No entanto, utilizaram uma calibração para que a amplitude de tensão efetiva fosse responsável pela diferença entre carga estática e cíclica. Obtiveram um bom acordo entre teoria e experimentos para os dois perfis de carga. Contudo, os autores concluíram que o método apresentado permitirá parâmetros de fadiga interfacial dente-compósito ser determinado com mais eficiência. Com calibração adequada, o modelo in vitro também pode ser usado para avaliar sistemas compósitos de maneira clinicamente relevante.

Zhu *et al.* (2018) realizaram o teste *push out* (PO) e o teste de compressão diametral (DC) para comparar dois métodos de medição da resistência de união. Comparado com o teste de PO, o disco em DC forneceu medidas de resistência de união que foram mais precisas. Quanto ao deslocamento de carga, curvas do teste de DC foram mais suaves e mais lineares até o ponto de fratura, quando em comparação com os do teste PO. Em comparação com o teste PO, DC é mais fácil de executar para determinar a resistência de união entre pinos e dentina. De acordo com os autores, nenhum alinhamento de amostra é necessário no teste DC, e produziu um desvio padrão menor na resistência de união medida. A principal desvantagem do teste DC, entretanto, é que a análise de elemento finito (FEA) é necessária para calcular a resistência de união. Quanto à resistência ao cisalhamento dada pelo teste PO com base na fórmula simples, não é válida, e o pico de carga de falha depende do atrito na interface pós-dentina.

### **2.3.2 Teste de *Push Out***

Ao contrário da CD, o teste de PO tem aplicação na Odontologia há vários anos, e consiste na extrusão, por meio

de uma força vertical, de cima para baixo, aplicada perpendicularmente ao material que está no interior do canal radicular. É utilizado para avaliar a resistência adesiva de materiais restauradores, como pinos de fibra de vidro (FURUSE *et al.*, 2014; DE ARAÚJO *et al.*, 2014; HASHEM *et al.*, 2021).

De Araújo *et al.*, em 2014, avaliaram a influência da clorexidina 2% (CHX) na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina do canal radicular, variando os cimentos (dual resinoso ou cimento de ionômero de vidro modificado por resina) e o tempo de armazenamento. Oitenta raízes bovinas foram selecionadas e tratadas endodonticamente, e, então, foram distribuídas, aleatoriamente, em quatro grupos (n=20) de acordo com o protocolo de cimentação: RelyX ARC (ARC); ARC+CHX; RelyX Luting 2 (RL); e RL + CHX. Após 24 h de cimentação, as raízes foram fatiadas para obtenção de fatias de 1 mm de espessura. Dez amostras de cada grupo foram submetidas a 7 dias de armazenamento e as dez amostras remanescentes foram armazenadas por 6 meses em saliva artificial. As amostras foram submetidas ao teste *push-out* com uma velocidade de 0,5 mm/min. Os modos de falha foram

analisados com um microscópio digital (50× e 200×). De acordo com os resultados do estudo, os pinos de fibra de vidro cimentados com RelyX ARC (cimento dual resinoso) apresentaram resistência de união superior aos cimentados com RelyX Luting 2 (cimento de ionômero de vidro modificado por resina). Além disso, foi possível observar que a CHX não foi eficaz para melhorar a resistência de união e afetou negativamente a resistência de união dos pinos de fibra de vidro cimentados com RelyX ARC após 6 meses de armazenamento.

Furuse *et al.*, em 2014, avaliaram a resistência de união de pinos de fibra de vidro cimentados à dentina radicular após desproteinização das paredes dentinárias do canal radicular com hipoclorito de sódio e aplicação de uma solução antioxidante (ascorbato de sódio). Um sistema adesivo de três passos (Scotch Bond) e um sistema adesivo de passo único (Xeno III) foram avaliados. Trinta raízes de incisivos bovinos foram divididos em 3 grupos: a. irrigação com solução fisiológica (controle); b. desproteinização com NaOCl 5% por 10 minutos; c. desproteinização com NaOCl 5% seguida por aplicação de ácido ascórbico 10%. Os pinos de fibra foram cimentados com cimento resinoso dual (RelyX ARC).

A resistência de união foi avaliada após 24 horas de armazenagem em água destilada. De acordo com os resultados do estudo, o sistema adesivo de três passos não foi influenciado pela desproteínização, enquanto que o sistema adesivo de passo único demonstrou uma redução da resistência de união quando desproteínizado com NaOCl 5%. No entanto, a aplicação de ácido ascórbico 10% foi capaz de reverter da desproteínização. Diante do exposto, pode-se concluir que o sistema adesivo de passo único (Xeno III) é influenciado pela desproteínização da dentina radicular.

Akyuz Ekim *et al.*, em 2015 avaliaram o efeito de vários protocolos finais de ativação de irrigantes na resistência de união por *push out* do pino de fibra. Trinta e dois dentes centrais maxilares humanos com uma única raiz foram seccionados abaixo da junção cimento-esmalte, instrumentados e obturados. A preparação foi realizada e as raízes foram divididas aleatoriamente em oito grupos (n = 4), de acordo com os protocolos finais de ativação do irrigante; a água destilada foi usada como irrigante no grupo 1. Os outros grupos foram tratados com 2,5% de NaOCl e 17% de EDTA. Irrigação convencional por seringa (CSI, sem ativação) foi usada no grupo 2. As soluções de irrigação

foram ativadas usando irrigação ultrassônica passiva (PUI, grupo 3), pressão negativa apical EndoVac (ANP, grupo 4), laser de diodo (grupo 5), neodímio: ítrio-alumínio-granada (Nd: Laser YAG) (grupo 6), laser de érbio: ítrioalumínio-granada (Er: YAG) (grupo 7) e laser Er: YAG usando a técnica de fluxo fotoacústico induzido por fótons (PIPS™) (grupo 8). Em todos os grupos, os postes de fibra (White Post DC, FGM) foram cimentados com o cimento Panavia F 2.0 (Kuraray, Osaka, Japão). Os espécimes foram seccionados transversalmente e todas as fatias das regiões coronal e apical foram submetidas a testes de *push out*. A remoção da *smear layer* aumentou a resistência adesiva à dentina quando comparada ao grupo controle ( $p < 0,05$ ). A maior força de união foi obtida no grupo de irrigação PIPS ativado por laser ( $p < 0,05$ ). A região radicular coronal apresentou resistência de união significativamente maior que a região apical ( $p < 0,05$ ). Irrigação PIPS laser mostrou uma eficiência mais elevada.

Pelegrine *et al.*, em 2016, avaliaram o impacto do retratamento endodôntico na resistência de união de dois cimentos resinosos utilizados para a pós cimentação de pinos de fibra. Os canais radiculares de 40 caninos humanos

extraídos foram preparados, obturados e divididos em quatro grupos (n=10). A guta-percha foi parcialmente removida e pinos de fibra foram imediatamente cimentados nos grupos 1 e 2 usando cimento Panavia F e RelyX U200, respectivamente. Nos grupos 3 e 4, o acesso do canal radicular foi selado com cimento restaurador temporário, os espécimes foram armazenados por 30 dias, endodonticamente retratados, e os pinos de fibra foram cimentados usando o cimento resinoso aplicado aos grupos 1 e 2, respectivamente. Foram realizados testes de *push out* e análises de microscopia eletrônica de varredura de diferentes áreas. De acordo com resultados do estudo, foram detectados valores mais elevados de resistência de união no grupo 1 comparado ao grupo 3 onde foi realizado o retratamento endodôntico. Não foram observadas diferenças significativas quando comparados os grupos 2 e 4. Diante do exposto, podese concluir que o retratamento endodôntico não teve efeitos adversos na resistência de união do cimento resinoso RelyX U200 à dentina radicular.

Cecchin *et al.* (2018) analisaram “in vitro” a utilização de ácido glicólico (GA) como substância de pré-tratamento para aplicação de restaurações dentárias. O padrão de pré-

tratamento de tecidos dentais duros com GA foi avaliado pela microdureza de superfície e microscopia eletrônica de varredura (SEM). A eficácia do GA proporcionando decapagem sobre esmalte e dentina foi avaliada usando dois modos de aplicação (esfregando e sem esfregar) e três sistemas adesivos (single bond [SB], one step plus [OSP] e Scotchbond Universal [SBU]). As medidas de microdureza Knoop foram realizadas em superfícies de esmalte e dentina polidas antes e após o tratamento com 35% de GA, 35% de ácido fosfórico (PA) ou água destilada (grupo controle) por 30 segundos. O teste de microtração foi realizado em esmalte e dentina. A análise ultraestrutural da interação superficial e interfacial foi realizada qualitativamente usando SEM. A eficácia do PA ou GA diminuíram significativamente a microdureza do esmalte, sendo o AG significativamente menos agressivo que o PA. O SEM revelou padrões semelhantes de ataque de AG e PA, enquanto aparentemente uma camada híbrida mais fina foi observada.

Kuçukekenci *et al.* (2019) tiveram como objetivo deste estudo “in vitro” comparar a eficácia de diferentes irrigantes, ativados por diferentes métodos, com as forças de união do pino da fibra ao canal radicular, com cimento resinoso

autoadesivo. Foram utilizados 48 caninos humanos decoronados. Os espécimes foram divididos em quatro grupos correspondentes ao processo de irrigação e tratados da seguinte forma: grupo água destilada (DW) (Controle) recebeu 15 mL de DW; o grupo hipoclorito de sódio (NaOCl) + ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) foi tratado com 5 mL de NaOCl 5,25%, 5 mL de EDTA 17% e 5 mL de DW; o grupo irrigação ultrassônica passiva (PUI) foi tratado com 5 mL de NaOCl 5,25%, 5 mL de EDTA 17% e 5 mL de DW. Cada irrigante foi agitado com uma lima ultrassônica e o grupo irrigação ativada a laser (LAI) foi tratado com 5 mL de NaOCl 5,25%, 5 mL de EDTA 17% e 5 mL de DW, sendo que cada irrigante foi irradiado com laser Nd: YAG. Os pinos de fibra foram cimentados com cimento de resina autoadesiva, e um teste de *push out* foi realizado. Os valores de resistência de união para os grupos obtidos foram os seguintes: Controle (10,04 MPa), NaOCl + EDTA (11,07 MPa), PUI (11,85 MPa) e LAI (11,63 MPa). Não foram encontradas diferenças significantes entre os grupos ( $p > 0,05$ ) portanto os métodos de ativação irrigante não aumentaram a resistência de união dos pinos de fibra ao canal. As regiões coronais (12,66 MPa) e média (11,63 MPa)

da raiz indicaram uma resistência de união significativamente maior em comparação com a região apical (9,16 MPa) ( $p < 0,05$ ).

Souza *et al.* (2019) tiveram como objetivo avaliar “in vitro” a influência dos protocolos finais de irrigação e do cimento endodôntico na resistência de união do material de obturação radicular à dentina radicular previamente tratada com terapia fotodinâmica (PDT). Cem canais radiculares foram preparados até o arquivo # F3 do sistema ProTaper para receber o material de preenchimento radicular. Todas as amostras foram submetidas à PDT e divididas aleatoriamente em cinco grupos ( $n = 20$ ), de acordo com os protocolos finais de irrigação: Água destilada do grupo 1 + ativação ultrassônica (US); Grupo 2-17% de EDTA; Grupo 3-QMix; Grupo 4-17% de EDTA + US; Grupo 5-QMix + US. Cada grupo foi dividido aleatoriamente em dois subgrupos ( $n = 10$ ), de acordo com o cimento endodôntico utilizado para cimentação dos pontos de guta-percha: AH Plus ou MTA Fillapex. A resistência de união foi avaliada por meio de teste de *push out*. Os padrões de falha foram observados sob microscopia óptica. A resistência de união foi avaliada com ANOVA bidirecional, seguida do teste post-hoc de Tukey, e

o modo de falha foi avaliado pelo teste do qui-quadrado ( $\alpha = 5\%$ ). O uso de EDTA 17% e QMix, independentemente da associação com US, e o uso de AH Plus, melhoram a resistência da união do material de preenchimento radicular à dentina radicular previamente tratada com PDT.

### 3. PROPOSIÇÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular através de testes de *push out* e compressão diametral, testando a influência da ativação ultrassônica em diferentes irrigantes finais (água destilada, EDTA e ácido glicólico), associados ou não à PDT. Objetivou-se ainda avaliar os modos de falha obtidos em cada grupo. Por fim, buscou-se avaliar se existe correlação entre os testes de PO e CD na determinação da resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.

Hipóteses do estudo:

- 1) Existe diferença na resistência de união entre pinos de fibra de vidro e dentina radicular frente à aplicação da PDT, diferentes irrigantes endodônticos finais e ativação ultrassônica dos mesmos;
- 2) Os modos de falha observados após os ensaios mecânicos variam conforme os irrigantes endodônticos finais, ativação ultrassônica dos mesmos e realização ou não de PDT;

3) Os métodos de PO e CD apresentam correlação estatística ao se analisar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular e a tensão máxima de resistência à tração diametral.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Seleção e preparo das amostras

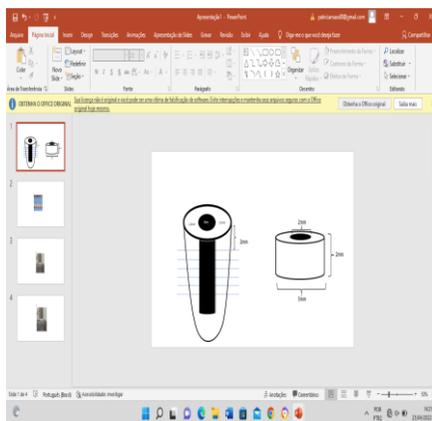
Foram extraídos 200 dentes bovinos unirradiculares em abatedouros comerciais, após o abate dos animais para consumo de carne e derivados. Destes dentes, foram selecionados apenas aqueles com as dimensões externas semelhantes e condutos radiculares estreitos, resultando em uma amostra final de 120 dentes. Imediatamente após a extração, os dentes foram armazenados em caixa de isopor com gelo e logo após, armazenados em *freezer* a  $-17^{\circ}\text{C}$ , para evitar qualquer degradação do colágeno e das estruturas dentinárias até o momento de sua utilização. Os dentes ficaram armazenados em sacos plásticos com 10 unidades cada para serem descongelados gradualmente, conforme o uso.

Todos os passos operatórios e preparo das amostras foram realizados por um operador previamente treinado. Inicialmente, a porção coronária dos dentes foi seccionada com disco diamantado dupla face (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) acoplado a uma peça reta de baixa rotação, sob refrigeração constante, abaixo da junção amelocementária, de forma que o remanescente radicular apresentasse um

comprimento de 15 mm. Os dentes receberam marcações de referência nas superfícies radiculares por meio de uma caneta de retroprojektor, sendo a primeira marcação 2 mm abaixo do limite amelocementário, a segunda marca 2 mm acima do ápice radicular, e última marcação na metade da distância entre as duas marcas anteriormente descritas. Essas medidas foram realizadas com auxílio de um paquímetro digital (Vonder Paquímetro Eletrônico Digital, Curitiba, PR, Brasil).

Além disso, o diâmetro do conduto radicular foi avaliado como método de inclusão e exclusão dos dentes. Para isso, foram selecionados dentes com lima anatômica inicial (#45), padronizando-a para todos os dentes em estudo. Todas as raízes foram preparadas utilizando o mesmo protocolo. O tecido pulpar presente foi removido por meio de limas endodônticas tipo K (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) #45, sob abundante irrigação com água destilada (DW). Em seguida, os canais radiculares foram ampliados na direção cervico-apical utilizando brocas largo #6 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em baixa rotação, sob abundante irrigação com água destilada. O diâmetro interno do conduto radicular foi padronizado em 2 mm e o diâmetro

externo das amostras em 5 mm, utilizando-se lixa d'água número 600 sob irrigação (3M-ESPE, St. Paul, MN, EUA), (Figura 1) (CARRERA *et al.*,2016; LI *et al.*, 2017; ZHU *et al.*, 2018).



**Figura 2. Amostras padronizadas em 2 mm de diâmetro interno, 5 mm de diâmetro externo e 2 mm de espessura. Fonte: Autora.**

O comprimento de trabalho foi estabelecido por meio da introdução de uma lima tipo-K #35 no canal radicular até que sua ponta fosse visualizada no forame apical. A partir desta medida foi reduzido 1 mm, estabelecendo-se o comprimento de trabalho. Em seguida, a porção apical de todas as amostras foi selada com resina composta (Vitra APS, FGM – Dental Group, Joinville- SC, Brasil). A solução irrigadora utilizada

durante a instrumentação das raízes foi a água destilada (DW) (Natupharma, Passo Fundo, RS, Brasil).

#### **4.2. Classificação dos grupos de tratamento**

Após o preparo, as amostras foram divididas em doze grupos (n=10), de acordo com a aplicação de diferentes soluções irrigantes finais, aplicação ou não de ultrassom, e com a aplicação ou não de PDT, conforme segue abaixo:

G1 – AD

G2 – AD+US

G3 – EDTA

G4 – EDTA+US

G5 – AG

G6 – AG+US

G7 –PDT+AD

G8 – PDT+AD+US

G9 – PDT+EDTA

G10 – PDT+EDTA+US

G11 – PDT+AG

### **4.3. Irrigação final e ativação ultrassônica**

Nos Grupos 1, 3 e 5, após a instrumentação, realizou-se uma lavagem final com 5mL da respectiva solução irrigadora final: água destilada (G1), EDTA 17% (G3) ou ácido glicólico a 17% (G5), as quais permaneceram em contato com as paredes do canal durante 30s. Nos Grupos 2, 4 e 6, realizou-se a ativação ultrassônica (US) das soluções irrigantes finais. Os canais radiculares foram preenchidos com os respectivos irrigantes finais testados, que permaneceram em contato com as paredes do canal pelo período de 30s, sendo que durante todo esse tempo, realizou-se a ativação ultrassônica dos mesmos, inserindo-se o inserto (E1 Irrisonic - Helse Ultrasonic) até encontrar resistência e recuando-se 1 mm (ÇALT & SERPER 2002; PRADO *et al.*, 2011; CECCHIN *et al.*, 2018). Tal procedimento foi utilizado realizando-se um aparelho ultrassônico na escala 2 de potência (Nac Plus – Adiel, Ribeirão Preto, Brasil).

Para inserção dos irrigantes finais testados no interior dos canais radiculares foi utilizada seringa descartável estéril e agulha de calibre 30 (Navi-Tip – Ultradent, South Jordan UT, Estados Unidos).

Ao término dos protocolos de irrigação final, realizou-se uma irrigação com 5mL de água destilada e os canais radiculares de todos os grupos foram aspirados e secos com cones de papel absorvente calibre #80 (Tanari, Manaus, AM, Brasil).

#### **4.4. Terapia Fotodinâmica (PDT)**

Nos Grupos 7 a 12 replicou-se a metodologia dos Grupos 1 a 6, porém foi aplicado o protocolo de PDT, imediatamente após o preparo químico-mecânico e previamente à irrigação final. Para tal, preencheu-se os canais radiculares com 0,01% (0,1 mg/mL) de azul de metileno (Chimio Lux DMC, São Carlos, SP, Brasil) até o extravasamento na entrada do canal radicular. O corante permaneceu no canal radicular por 5 minutos (tempo de pré-irradiação). Depois disso, foi utilizado um laser de baixa intensidade (Therapy XT® DMC, São Carlos, SP, Brasil), com 100 mW de potência, de emissão contínua e espectro de luz vermelha (660-690nm de comprimento de onda), utilizando uma fibra óptica intracanal com um diâmetro de 600µm inserida 3 mm aquém do comprimento de trabalho. Os canais radiculares foram irradiados por 90 segundos, fornecendo uma dose total de 9J

e densidade de energia de  $320\text{J}/\text{cm}^2$ , enquanto a fibra intracanal permaneceu em posição estática, conforme recomendado pelo fabricante. Após a PDT, os canais radiculares foram irrigados com 5mL de AD, antes da irrigação com a respectiva solução irrigante final e ativação ultrassônica.

#### **4.5. Preparo dos pinos de fibra de vidro**

Utilizou-se o retentor intrarradicular Reforpost®, número 3, Fibra De Vidro, (Angelus, Londrina - PR - Brasil) reembasado com resina composta fotoativada (Z 250- 3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), (GRANDINI *et al.*, 2003; VELMURUGAN & PARAMESWARAN 2004; FARIA-E-SILVA *et al.*, 2009; MACEDO *et al.*, 2010; FARINA *et al.*, 2015).

Inicialmente foi realizado o preparo do pino com aplicação de ácido fosfórico 37% (Condac 37% - FGM – Dental Group, Joinville – SC, Brasil) sobre a superfície do pino (para limpeza) durante 1min, lavagem por 1 min, secagem com jatos de ar, aplicação de silano (ANGELUS, Londrina - PR - Brasil) com um microaplicador cavibrush (FGM – Dental Group, Joinville – SC, Brasil) friccionando sobre a estrutura

do pino e aguardando 1 min para volatilizar o álcool presente em sua composição. Na sequência, aplicou-se uma fina camada do sistema adesivo Ambar APS (FGM – Dental Group, Joinville – SC, Brasil) sobre a superfície do pino e fotoativação em 2 faces por 40s cada face.

Para confecção do pino reembasado, primeiramente o canal foi isolado com gel hidrossolúvel (Natrosol, Natupharma, Passo Fundo, RS, Brasil). Em seguida, o pino de fibra de vidro foi envolvido com resina composta e o conjunto levado ao interior do canal radicular, o qual foi retirado e recolocado duas vezes, removendo-se os excessos de compósito e fotoativando-o em posição no interior do canal por 3s.

A seguir, foi realizada uma marcação na região vestibular do pino e do dente, objetivando identificar a posição correta de inserção do pino na etapa de cimentação. Em seguida, o pino modelado foi removido do interior do canal radicular cuidando-se para não tocar nas paredes do canal, fotoativando-o imediatamente na superfície vestibular e palatina por 40s cada face. Após, irrigou-se o canal abundantemente com água destilada durante 1 min a fim de remover completamente o gel hidrossolúvel, tendo sido o pino reembasado também lavado abundantemente. O canal

foi aspirado com cânula endodôntica estreita, até a completa remoção da água.

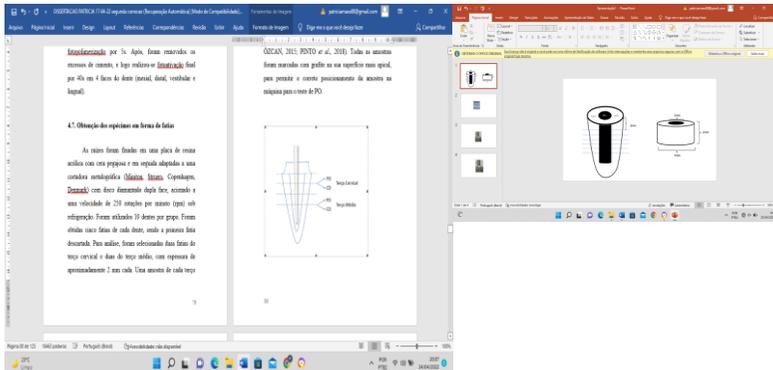
#### **4.6. Cimentação do retentor intrarradicular**

Após a modelagem do pino, realizou-se a cimentação do mesmo com cimento resinoso autoadesivo dual RelyX U200 (3M-ESPE, St. Paul, MN, EUA), o qual foi dispensado sobre um bloco de papel impermeável e manipulado por 10s. Com o auxílio de seringas do sistema Cêntrix e agulha Acudosse n°2 (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), o cimento foi levado ao interior do canal radicular. O pino então foi posicionado no interior do canal radicular, estabilizado manualmente por 20s e realizada uma fotopolimerização por 5s. Após, foram removidos os excessos de cimento, e logo realizou-se fotoativação final por 40s em 4 faces do dente (mesial, distal, vestibular e lingual).

#### **4.7. Obtenção dos espécimes em forma de fatias**

As raízes foram fixadas em uma placa de resina acrílica com cera pegajosa e em seguida adaptadas a uma cortadora metalográfica (Miniton, Struers, Copenhagen, Denmark) com disco diamantado dupla face, acionado a uma

velocidade de 250 rotações por minuto (rpm) sob refrigeração. Foram obtidas cinco fatias de cada dente, com 2 mm cada; a fatia mais cervical foi descartada, sendo que uma fatia do terço cervical e outra do terço médio utilizadas para o teste de PO e as outras duas para o teste de CD (Figura 3). Assim, obteve-se 10 amostras por terço para cada método avaliado (n=10), definido pelo poder do teste e amostra de artigos anteriores já publicados (PEREIRA *et al.*, 2013; SAKER E ÖZCAN, 2015; PINTO *et al.*, 2018). Após a realização da secção das raízes no formato de discos, foi aguardado um período de uma semana para a realização dos ensaios mecânicos. Durante este período as amostras foram armazenadas em ambiente umedecido com água destilada em temperatura ambiente.

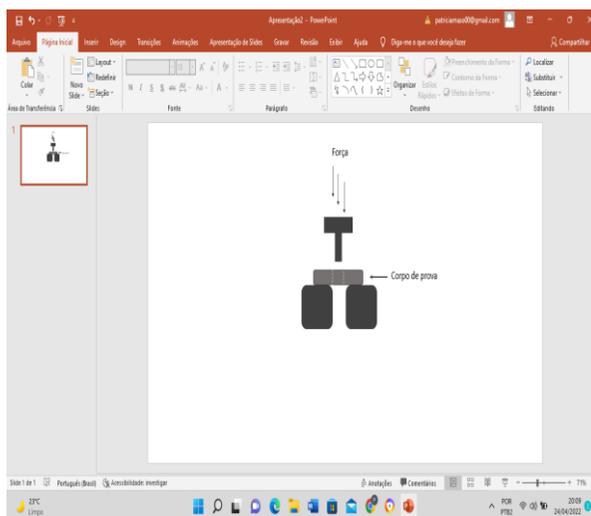


**Figura 3. Desenho esquemático da cimentação dos pinos de fibra de vidro. Corte horizontal para preparo das amostras. Fonte: Autora.**

#### **4.8. Teste de *Push Out* (PO)**

Para o teste de PO, os discos confeccionados foram posicionados com a parte cervical do corte voltada para baixo sobre a mesa (perfurada no centro) do dispositivo. Uma força vertical de cima para baixo foi aplicada perpendicularmente ao conjunto pino/resina/cimento por meio de um pistão metálico, o qual apresenta secção circular. O diâmetro deste pistão era compatível com o diâmetro do pino de fibra de vidro utilizado, sem tocar as paredes de dentina. O pistão metálico estava conectado a uma máquina de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) com célula de carga de 500N. O teste foi realizado com uma

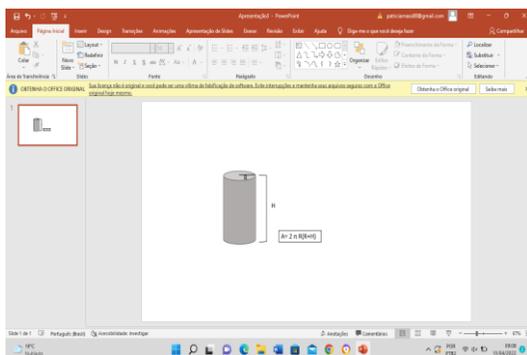
velocidade de 0,5 mm/min e a carga foi aplicada até que ocorresse a extrusão do conjunto pino/resina/cimento. A partir disso analisou-se, no computador conectado à máquina, a medida de força, em newtons (N), necessária para o deslocamento do material.



**Figura 4. Esquema ilustrativo da realização do teste de push out.** Fonte: autora. Adaptado da tese de Doutorado de Bárbara Facco Rauber.

Após a realização do teste de PO, os discos de dentina foram observados individualmente em microscópio óptico (Carl Zeiss, São Paulo, SP, Brasil) acoplado ao computador, em um aumento de 50x. A área foi calculada pela fórmula da área

do cilindro  $A=2\pi R(R+H)$ . A resistência de união foi calculada em MPa, através da divisão da força em newtons (N) obtida no teste de PO pela área (A) de superfície do canal.



**Figura 5. Área do cilindro. Fonte: autora. Adaptado da tese de Doutorado da Bárbara Facco Rauber.**

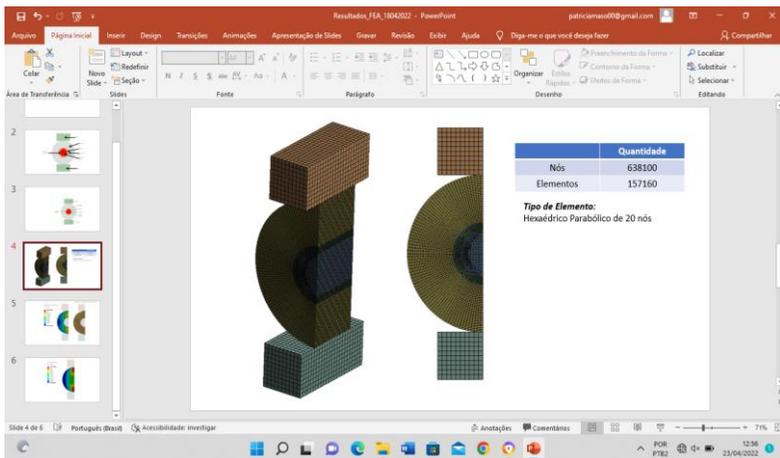
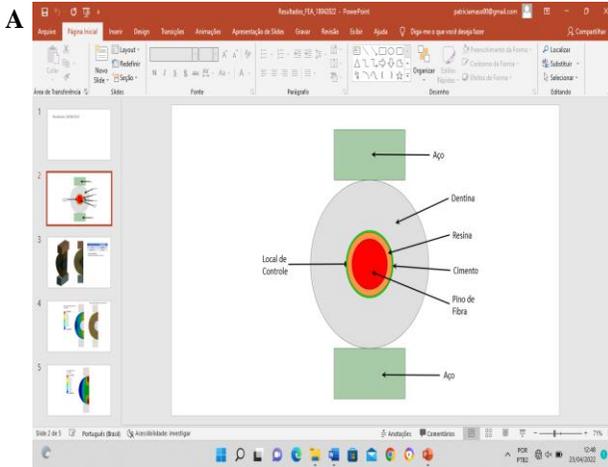
Ao mesmo tempo da realização das medidas, no microscópio óptico (Estereomicroscópio, Série ZTX Zoom) foram observados e classificados os padrões de falha de cada amostra (CECCHIN *et al.*, 2019), em 5 tipos: (1) adesiva entre compósito e cimento resinoso (cimento não visível em volta do compósito); (2) mista, com cimento resinoso cobrindo de 0 a 50% do diâmetro total do compósito; (3) mista com cimento resinoso cobrindo de 50 a 100% da superfície do compósito; (4) adesiva entre cimento resinoso e

dentina radicular (compósito envolvido por cimento resinoso) e (5) coesiva em dentina.

#### **4.9. Teste de compressão diametral (CD)**

A CD foi realizada utilizando duas placas de aço horizontais e paralelas, como mostrado na Figura 5A. As amostras em forma de fatias foram posicionadas na base do dispositivo Bencor Multi-T (Danville Engineering, San Ramon, CA, EUA), que estava acoplado a uma máquina de ensaios universal (EMIC-2000 DL, EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil). Foi aplicada uma carga de compressão perpendicular ao eixo longitudinal da amostra, utilizando uma célula de carga de 2000 N, a uma velocidade de 0,5 mm/min até a fratura da amostra.

Foi projetado um modelo de análise por elementos finitos (FEA) para realizar a avaliação dos corpos-de-prova submetidos ao teste de compressão diametral (Fig. 5B).



**B**  
**Figura 6. A Esquema ilustrativo da realização do teste de compressão diametral. B Esquema representativo da análise por FEA. Fonte: Laboratório de Projetos e Instrumentação da Faculdade de Engenharia e Arquitetura – FEAR da UPF; colaboração do Prof. Fábio Goedel**

#### **4.10 Análise Estatística**

Os dados de resistência de união por *push out* não passaram no teste de normalidade de Shapiro-Wilk e no teste de variância semelhante ( $p < 0,05$ ). Assim, foram analisados pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e teste de comparação de Student-Newman-Keuls. Os padrões de falha após os testes de PO foram analisados pelo teste qui-quadrado. Os testes estatísticos foram realizados em um nível de significância de 5%.

Os dados de tensão máxima obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral não passaram no teste de variância semelhante ( $p < 0,05$ ). Foi realizado teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e teste de comparação de Student-Newman-Keuls, com nível de significância de 5%.

Foi realizado o teste de correlação de Pearson com nível de significância de 5% para verificar a relação entre os valores de resistência de união pelo teste de *push out* e a tensão máxima de resistência à tração por compressão diametral dos grupos experimentais.

## 5. RESULTADOS

Os valores de resistência de união por *push out* para os grupos experimentais encontram-se na Tabela 1. Houve diferença estatística entre os grupos experimentais ( $p < 0,001$ ; poder = 1,00) para as três substâncias, o uso do ultrassom e a terapia fotodinâmica em relação à resistência de união com a dentina. Quando o EDTA foi utilizado, a terapia fotodinâmica resultou em maiores valores de resistência de união. Quando o AG foi utilizado, o ultrassom apenas e a combinação de ultrassom com terapia fotodinâmica foram os tratamentos que resultaram em maiores valores de resistência de união.

Tabela 1. Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais.

| <b>Substância</b> | <b>Grupo</b> | <b>Ultra-Som</b> | <b>PDT</b> | <b>Mediana (MPa)</b> | <b>Q1 (MPa)</b> | <b>Q3 (MPa)</b> |
|-------------------|--------------|------------------|------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Água destilada    | G1           | Não              | Não        | 4,74 d               | 4,26            | 5,25            |
|                   | G2           | Sim              | Não        | 5,27 c               | 4,62            | 6,26            |
|                   | G7           | Não              | Sim        | 4,96 c               | 4,41            | 5,86            |
|                   | G8           | Sim              | Sim        | 5,18 c               | 4,74            | 5,46            |
| EDTA              | G3           | Não              | Não        | 4,21 e               | 3,35            | 5,36            |
|                   | G4           | Sim              | Não        | 4,96 c               | 4,50            | 5,71            |
|                   | G9           | Não              | Sim        | 6,10 b               | 5,11            | 7,52            |
|                   | G10          | Sim              | Sim        | 5,73 c               | 4,28            | 6,52            |
| AG                | G5           | Não              | Não        | 4,07 f               | 3,41            | 4,64            |
|                   | G6           | Sim              | Não        | 6,68 a               | 5,66            | 7,36            |
|                   | G11          | Não              | Sim        | 4,97 c               | 4,68            | 5,14            |
|                   | G12          | Sim              | Sim        | 6,86 a               | 5,76            | 8,32            |

Os dados de modo de falha dos corpos-de-prova dos diferentes grupos experimentais após o ensaio de resistência de união por *push out* encontram-se na Tabela 2. Houve relação significativa entre o modo de falha dos corpos-de-

prova submetidos ao teste de resistência de união *por push out* entre os diferentes grupos experimentais ( $p=0,002$ ).

Nota-se que o padrão de falha tipo 1 (adesiva entre compósito e cimento resinoso com manutenção do cimento sobre a dentina) foi mais comum nos Grupos 3 (EDTA), 5 (AG), 6 (AG+US) e 11 (AG+PDT). O padrão de falha tipo 5 (coesiva em dentina) foi mais comum nos Grupos 6 (AG+US) e 10 (EDTA+US+PDT). O Grupo 6 (AG+US) foi o que apresentou maior índice de padrões de falha favoráveis (tipos 1 e 5), seguido pelos Grupos 3, 5, 10 e 11, os quais envolvem EDTA ou AG, acompanhados ou não de US e PDT.

Tabela 2. Frequência (%) dos modos de falha dos corpos-de-prova submetidos ao teste de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais.

| Substância        | Grupo | Ultra-     | PDT | Escores – Modo de Falha |     |     |     |     |
|-------------------|-------|------------|-----|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                   |       |            |     | 1                       | 2   | 3   | 4   | 5   |
|                   |       | <b>Som</b> |     |                         |     |     |     |     |
| Água<br>destilada | G1    | Não        | Não | 5%                      | 50% | 20% | 0%  | 25% |
|                   | G2    | Sim        | Não | 10%                     | 55% | 20% | 5%  | 10% |
|                   | G7    | Não        | Sim | 5%                      | 55% | 35% | 0%  | 5%  |
|                   | G8    | Sim        | Sim | 10%                     | 45% | 25% | 0%  | 20% |
| EDTA              | G3    | Não        | Não | 30%                     | 25% | 20% | 10% | 15% |
|                   | G4    | Sim        | Não | 0%                      | 65% | 30% | 5%  | 0%  |
|                   | G9    | Não        | Sim | 5%                      | 50% | 40% | 0%  | 5%  |
|                   | G10   | Sim        | Sim | 20%                     | 35% | 20% | 0%  | 25% |
| AG                | G5    | Não        | Não | 30%                     | 30% | 30% | 5%  | 5%  |
|                   | G6    | Sim        | Não | 45%                     | 15% | 10% | 0%  | 30% |
|                   | G11   | Não        | Sim | 30%                     | 20% | 30% | 0%  | 20% |
|                   | G12   | Sim        | Sim | 0%                      | 45% | 40% | 0%  | 15% |

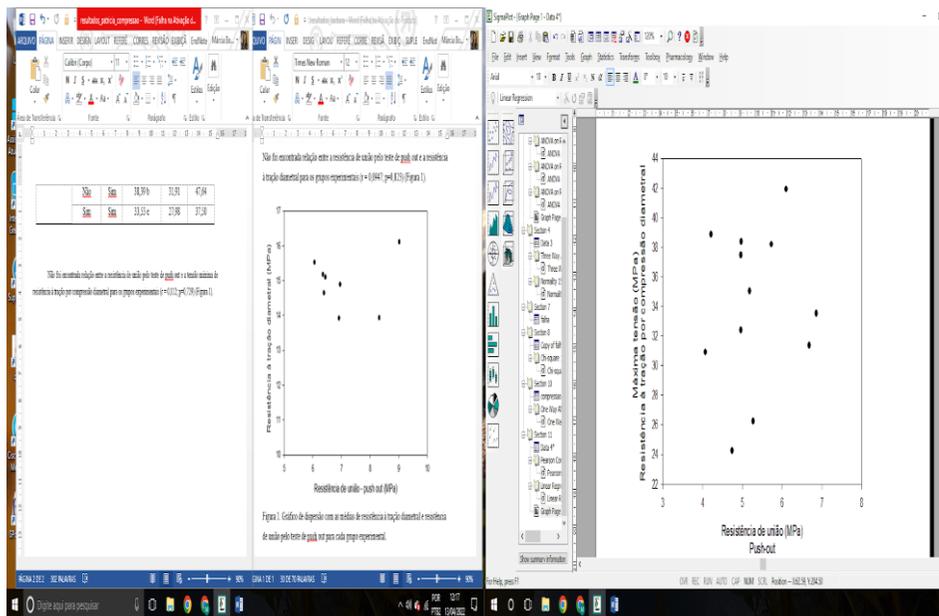
Os valores de tensão máxima no ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os grupos experimentais encontram-se na Tabela 3. Houve diferença estatística entre os grupos experimentais ( $p < 0,001$ ). O grupo tratado com EDTA+PDT (G9) mostrou os maiores valores de tensão máxima, seguido pelos grupos EDTA, EDTA+US+PDT e AG+PDT (G3, G10 e G11). Os grupos tratados com água

destilada sem e com ultrassom (G1 e G2) apresentaram os menores valores de tensão máxima.

Tabela 3. Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de máxima tensão no teste de resistência à tração por compressão diametral (MPa) para os grupos experimentais.

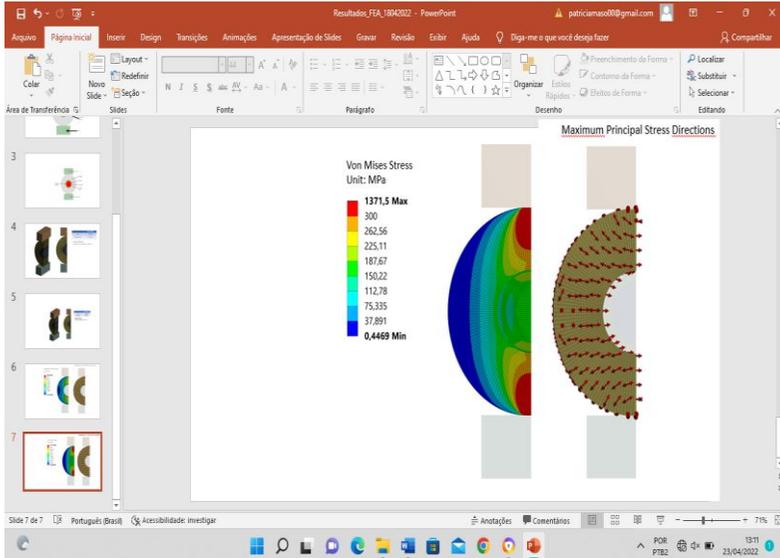
| <b>Substância</b> | <b>Grupo</b> | <b>Ultrassom</b> | <b>PDT</b> | <b>Mediana<br/>(MPa)</b> | <b>Q1<br/>(MPa)</b> | <b>Q3<br/>(MPa)</b> |
|-------------------|--------------|------------------|------------|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Água<br>destilada | G1           | Não              | Não        | 24,25 g                  | 21,12               | 31,77               |
|                   | G2           | Sim              | Não        | 26,22 g                  | 23,26               | 30,14               |
|                   | G7           | Não              | Sim        | 32,41 e                  | 28,78               | 36,65               |
|                   | G8           | Sim              | Sim        | 35,04 d                  | 30,16               | 37,47               |
| EDTA              | G3           | Não              | Não        | 38,84 b                  | 35,39               | 40,60               |
|                   | G4           | Sim              | Não        | 37,45 c                  | 30,61               | 41,95               |
|                   | G9           | Não              | Sim        | 41,90 a                  | 39,03               | 44,48               |
|                   | G10          | Sim              | Sim        | 38,18 b                  | 35,14               | 40,96               |
| AG                | G5           | Não              | Não        | 30,90 f                  | 25,83               | 33,26               |
|                   | G6           | Sim              | Não        | 31,36 e                  | 28,69               | 35,15               |
|                   | G11          | Não              | Sim        | 38,39 b                  | 31,91               | 47,64               |
|                   | G12          | Sim              | Sim        | 33,53 e                  | 27,98               | 37,50               |

Não foi encontrada relação entre a resistência de união pelo teste de *push out* e a tensão máxima de resistência à tração por compressão diametral para os grupos experimentais ( $r = 0,112$ ;  $p=0,729$ ) (Figura 7). A Figura 7 mostra os diagramas representativos da distribuição de tensões durante o teste de compressão diametral, obtidas pela FEA.



**Figura 7. Gráfico de dispersão com as medianas, resistência de união pelo teste de *push out* e máxima tensão de resistência à tração por compressão diametral para cada grupo experimental.**

## Maximum Principal Stress Directions



**Figura 8. A Tensão Von Mises durante o teste de compressão diametral. B Distribuição de tensão ao longo da amostra. Fonte: Laboratório de Projetos e Instrumentação da Faculdade de Engenharia e Arquitetura- FEAR da UPF; colaboração do Prof. Fábio Goedel.**

## 6. DISCUSSÃO

A primeira hipótese do presente estudo foi aceita, uma vez que houve diferença na resistência de união por PO entre pinos de fibra de vidro e dentina radicular frente à aplicação de PDT, diferentes irrigantes endodônticos finais e ativação ultrassônica dos mesmos. Os resultados demonstraram que os grupos irrigados com ácido glicólico (AG) apresentaram os maiores valores de resistência de união quando tal substância foi ativada com ultrassom (G6) ou quando ativada e submetida à terapia fotodinâmica (G12). Os resultados encontrados vêm ao encontro da literatura, quando esta afirma que o AG não afeta negativamente as propriedades químico-mecânicas e não aumenta a erosão da dentina quando comparado ao EDTA (BARCELLOS *et al.*, 2020; DAL BELLO *et al.*, 2020, VIDAL *et al.*, 2021). Cecchin *et al.* (2018), ao estudarem o AG em comparação ao ácido fosfórico, também afirmam que o AG condiciona efetivamente as superfícies de esmalte e dentina, resultando em valores de resistência de união semelhantes aos associados

ao ácido fosfórico tradicional, funcionando assim como um condicionador de superfície de esmalte e dentina adequado para procedimentos restauradores adesivos.

Pôde-se observar que o EDTA apresentou seus maiores valores de resistência de união quando foi aplicado em associação com a PDT. Tal resultado demonstra que a terapia fotodinâmica não influencia negativamente na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina. Yavari *et al.* (2017) avaliaram o efeito da PDT na resistência adesiva de cimentos endodônticos resinosos por *push out* utilizando cinquenta dentes humanos unirradiculares, concluindo que a PDT apresenta um efeito positivo na resistência adesiva do AH Plus e MTA Fillapex à dentina radicular. Os autores explicam tais resultados com base no fato de que a irradiação a laser na superfície dentinária causa alterações na *smear layer*, evidenciadas ao exame por MEV.

Por outro lado, de acordo com estudo de Vohra *et al.* (2020), ao analisarem cinquenta dentes humanos, a PDT, quando utilizada de maneira isolada, diminuiu a resistência de pinos de fibra de vidro ao *push out* em comparação com o método convencional de limpeza de canais. Segundo os autores, tal resultado pode ocorrer devido à remoção imparcial da *smear*

*layer*, impedindo a penetração do cimento resinoso no local. Além disso, a liberação de radicais livres oriundos do fotossensibilizador pode danificar a camada híbrida, comprometendo a adesão. Deve-se, no entanto, ressaltar que Vohra *et al.* (2020) não estudaram um grupo que associasse PDT ao EDTA, conforme realizado neste estudo. Tal fato aponta que a aplicação da PDT seguida da irrigação com EDTA pode não influenciar negativamente na resistência adesiva, provavelmente pela ação quelante que esta substância produz nos canalículos dentinários após a aplicação do fotossensibilizador e da luz laser.

Ainda se tratando da influência da PDT na resistência adesiva de GFP à dentina radicular, Al Jeaidi (2021) realizou um estudo *in vitro* com 60 dentes humanos unirradulares, utilizando-se da metodologia *push out*, comparando cimento resinoso convencional e autoadesivo, e utilizando como tratamentos dos canais radiculares a PDT, associação de NaOCl 5,25% com EDTA ou NaOCl 1%. Notou-se que os grupos desinfectados com PDT, independente do tipo de cimento utilizado, mostraram baixos valores de resistência de união. Segundo Al Jeaidi (2021), o fotossensibilizador azul de metileno apresenta natureza catiônica e se liga a moléculas

aniônicas, ou seja, cálcio e fosfato presentes na dentina, desequilibrando a relação Ca/P e resultando em precipitação na dentina radicular. Assim, pode ocorrer um comprometimento da ação do cimento na dentina. Além disso, o azul de metileno é de natureza hidrofílica e tal hidrofiliabilidade pode absorver água da dentina radicular resultando em barreira física que deteriora a camada adesiva. Novamente é importante lembrar que Al Jeaidi (2021) não avaliou um grupo que associasse PDT e EDTA, conforme realizado no presente estudo. Tal fato aponta que a aplicação da PDT seguida da irrigação com EDTA pode não influenciar negativamente na resistência adesiva, fato que aconteceu na presente pesquisa.

Ressalta-se ainda o fato de que, quando não associado à ativação ultrassônica ou PDT, o AG (G5) apresentou resultados semelhantes ao EDTA utilizado de maneira isolada (G3), o que demonstra que o AG é uma substância passível de ser utilizada como irrigante endodôntico final, devendo no entanto, ser ativado por ultrassom a fim de potencializar os valores de resistência adesiva. O fato dos grupos irrigados com AG associado à ativação ultrassônica terem proporcionado melhores resultados de resistência adesiva

encontram respaldo na literatura, quando a mesma reporta que o ultrassom é utilizado na irrigação do sistema de canais radiculares com o objetivo de remover a camada de *smear layer* formada após o preparo químico mecânico, e que oblitera os canalículos dentinários (TORABINEJAD *et al.*, 2002; VAN DER SLUIS *et al.*, 2007), interferindo na resistência adesiva de materiais restauradores (SHAHARAVAN *et al.*, 2007).

O fato da ativação ultrassônica dos irrigantes finais ter otimizado a resistência de união dos GFP à dentina radicular também vem ao encontro dos resultados de Barreto *et al.* (2022). Tais autores, utilizando-se de 90 raízes dentárias bovinas, avaliaram a influência de diferentes combinações de 3 técnicas finais de irrigação endodôntica (irrigação com pressão positiva, irrigação ultrassônica passiva e irrigação ultrassônica contínua) e 2 irrigantes (hipoclorito de sódio 5,25% e clorexidina 2%) na resistência ao *push out* de pinos de fibra de vidro. Concluíram que, independentemente da solução irrigadora, a irrigação ultrassônica contínua alcançou resistências de união significativamente maiores para pinos de fibra de vidro.

A segunda hipótese do presente estudo também foi aceita, uma vez que os modos de falha observados após o teste de PO variam conforme os irrigantes endodônticos finais, ativação ultrassônica dos mesmos e realização ou não de PDT.

Cecchin *et al.* (2019) analisaram os modos de falha através de um microscópio óptico e classificaram-nos em 5 tipos: (1) falha adesiva entre compósito e cimento resinoso (cimento não visível em volta do compósito); (2) falha mista, com cimento resinoso cobrindo de 0 a 50% do diâmetro total do compósito; (3) falha mista com cimento resinoso cobrindo de 50 a 100% da superfície do compósito; (4) falha adesiva entre cimento resinoso e dentina radicular (compósito envolvido por cimento resinoso) e (5) falha coesiva em dentina, sendo 1, 2 e 5 os tipos de falha considerados mais favoráveis pelo fato da maior porção de cimento ter permanecido em contato com a dentina. No presente estudo, as falhas do tipo 1 e tipo 5 foram mais observadas no grupo onde foi aplicado o AG em associação com ativação ultrassônica. Tais resultados comprovam a eficácia da utilização do AG para aumento da resistência adesiva e reforçam o papel positivo do US nos valores de resistência de união entre materiais resinosos e a dentina radicular. Os resultados encontrados são semelhantes

aos de Souza *et al.* (2019), que relataram um maior número de falhas coesivas em dentina (tipo 5) ao analisarem por teste de *push out* cem dentes submetidos à terapia fotodinâmica e variando quanto ao protocolo de irrigação final, ativação ultrassônica e cimento resinoso. Segundo estes autores, o uso de US na irrigação final melhorou a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina, enquanto o tipo de cimento resinoso (dual ou autoadesivo) não influenciou na resistência de união.

Pode-se dizer que a terceira hipótese do presente estudo foi rejeitada, uma vez que os métodos de PO e CD não apresentam relação estatística ao se analisar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular obtida pelo teste PO com a tensão máxima de resistência à tração obtida pelo teste de CD ( $r=0,112$ ;  $p=0,729$ ).

Apesar do teste de CD consistir num método de fácil execução laboratorial (HUANG *et al.*, 2012; CARRERA *et al.*, 2016; ZHU *et al.*, 2018), quando são avaliados muitos grupos e muitas variáveis, como no presente estudo que contou com 120 corpos-de-prova para o teste CD, é necessário um tempo longo para a análise dos resultados, porque cada amostra deve ser analisada separadamente.

Assim, optou-se por realizar a análise das médias de cada um dos doze grupos estudados por meio da análise de elementos finitos (FEA) para determinar as distribuições de tensões e tensão máxima de resistência à tração (HUANG *et al.*, 2012), ao invés de avaliar cada corpo-de-prova separadamente, conforme realizado no teste PO.

Além disso, é importante mencionar que o método FEA demonstrou que as tensões máximas durante o teste CD se concentravam na dentina radicular e não na interface adesiva, a qual consiste no ponto-alvo de avaliação do presente estudo. Assim, pode-se entender que a grande espessura de dentina ao redor da interface adesiva dentina-pino de fibra de vidro pode ter funcionado como um fator limitante da avaliação pelo teste CD, fazendo com que se obtivessem dados de resistência do conjunto e não apenas do sítio de interesse.

Dessa maneira, baseando-se nos resultados obtidos, pode-se inferir que o teste de *push out* continua sendo o mais recomendado para avaliar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular, pois é mais sensível para detectar as alterações na interface adesiva quando diferentes irrigantes finais, ultrassom e PDT são utilizados.

Apesar deste experimento ter sido desenvolvido procurando reproduzir ao máximo os procedimentos executados no ambiente clínico, pode-se citar como limitação o fato de que se trata de uma pesquisa laboratorial utilizando-se de dentes bovinos, que possuem composição e morfologia semelhantes aos dentes humanos. Assim, se faz necessária a realização de testes clínicos avaliando as variáveis em estudo a fim de se comprovar os resultados obtidos.

## 7. CONCLUSÕES

A partir da metodologia empregada e dos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

- 1) Os melhores resultados de resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular foram notados ao se utilizar o AG, quando associado somente a US ou a US e PDT, e ao se utilizar o EDTA associado a PDT;
- 2) O maior índice de padrões de falha favoráveis (tipos 1 e 5) foi notado quando se utilizou o AG associado à US, denotando a aplicabilidade de tal substância como irrigante endodôntico final e a importância da ativação ultrassônica na otimização da resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.
- 3) Não foi notada correlação entre os testes de PO e CD ao se analisar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4) O presente estudo avaliou a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular através dos testes de *push out* e compressão diametral, testando a influência da ativação ultrassônica em diferentes irrigantes finais, associados ou não à terapia fotodinâmica. A partir disso, foi possível constatar que o AG, associado à ativação ultrassônica e à terapia fotodinâmica mostrou-se ser a melhor opção de substância irrigadora final, tanto em relação à resistência adesiva quanto em relação aos padrões de falha. Aliado a isso, foi possível constatar que não houve correlação entre os testes de PO e CD ao se analisar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular.

## REFERÊNCIAS

1. AHIR, B.; PAREKH, V.; KATYAYAN, M. K.; KATYAYAN, P. A. Smear layer removal efficacy of different irrigating solutions: a comparative scanning electron microscope evaluation. *Indian Journal of Dentistry Research*. v. 25, n. 5, p. 617-622, 2014.
2. AKYUZ EKIM, SN.; ERDEMIR, A. Effect of different irrigant activation protocols on push-out bond strength. *Lasers in Medical Science*, v. 30, n. 8, p. 2143-2149, 2015.
3. AL JEAIDI, Z. A. Influence of resin cements and root canal disinfection techniques on the adhesive bond strength of fibre reinforced composite post to radicular dentin. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 33, p. 102-108, 2020.
4. AHDAL, A. K.; AL DEEB, L.; AL-HAMDAN, R. S.; BIN-SHUWAISH, M. S.; AL DEEB, M.; MAAWADH, A. M.; ALHELAL A.; VOHRA, F.; ABDULJABBAR, T. Influence of different photosensitizers on push-out bond strength of fiber post to radicular dentin. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 31, 2020.

5. ALONAIZAN, F.A.; ALFAWAZ, Y. F; ALSAHHAF A.; ALOFI, R. F.; ALAALI, K.A.; ALRAHLAH, A.; VOHRA, F.; ABDULJABBAR, T. Effect of Photodynamic Therapy and ErCrYSGG Laser Irradiation on the Push-Out Bond Strength Between Fiber Post and Root Dentin. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 27, p. 415-418, 2019.
6. BARRETO, J. R. P.; DE MOURA MARTINS, L.; CHUI, F. M. S.; PONTES, D.G, SPONCHIADO, E. C Jr, SILVA, L. M. The influence of final endodontic irrigation techniques and irrigants on the push-out resistance of glass fiber posts. *Gen Dent*, v. 70, n. 1, p. 46-50, 2022.
7. BARCELLOS, R. R.; PEREIRA, D.; CORREIA, D.; FARINA, A.P.; FERRAZ, C. C. R.; CECCHIN, D. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with intraradicular post: The effects of post system and dentine thickness. *Journal of Biomechanics*, v. 46, n. 15, p. 2572-2577, 2013.
8. BARCELLOS, D. P. D. C.; FARINA, A. P.; BARCELLOS, R.; SOUZA, M. A.; BORBA, M.; BEDRAN-RUSSO, A. K.; DAL BELLO, Y.; VIDAL, C. M. P.; CECCHIN, D. Effect of a new irrigant solution containing

glycolic acid on smear layer removal and chemical/mechanical properties of dentin. *Scientific Reports*, v. 10, 2020.

9. BITTER, K.; KIELBASSA, A. M. Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review. *American Journal of Dentistry*, v. 20, n. 6, p. 353-360, 2007.

10. CARRERA, C. A.; CHENA, Y. C.; LIA, Y.; RUDNEYB, J.; APARICIOA, C.; FOKA, A. Dentin-composite bond strength measurement using the Brazilian disk test. *Journal of Dentistry*, v. 52, p. 37-44, 2016.

11. ÇALT, S.; SERPER, A. Time-Dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of endodontics*, v. 28, n. 17, p. 9, 2002.

12. CECCHIN, D.; FARINA, A. P.; VIDAL, C.; BEDRAN-RUSSO, A. K. A Novel Enamel and Dentin Etching Protocol Using  $\alpha$ -hydroxy Glycolic Acid: Surface Property, Etching Pattern, and Bond Strength Studies. *Operative Dentistry*. v. 43, n. 1, p. 101-110, 2018.

13. CECCHIN, D.; BRINGHENTI, I. L.; BERNARDI, J. B.; LEAL, L. O.; SOUZA, M. A.; BBEDRAN-RUSSO, A. K.; FARINA, A. P. Alpha-hydroxy glycolic acid for root

dentin etching: morphological analysis and push out bond strength. *International Journal Adhesion and Adhesives*, v. 90, p. 138-143, 2019.

14. COELHO, C. S.; BIFFI, J. C.; SILVA, G. R.; ABRAHÃO, A.; CAMPOS, R. E.; SOARES, C. J. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dental Materials Journal*, v. 28, n. 6, p. 671–678, 2009.

15. DAL BELLO, Y.; FARINA, A. P.; SOUZA, M. A.; CECCHIN, D. Glycolic acid: Characterization of a new final irrigant and effects on flexural strength and structural integrity of dentin, *Materials Science & Engineering*, v. 106, 2020.

16. DAL BELLO, Y.; PORSCHA, I. F.; FARINA, A. P.; SOUZA, M. A.; SILVA, E. J. N. L.; BEDRAN-RUSSOC, A. K.; CECCHIN, D. Glycolic acid as the final irrigant in endodontics: Mechanical and cytotoxic effects. *Materials Science & Engineering*, p. 323-329, 2019.

17. DE ARAÚJO, D. F.; CHAVES, L. P.; BIM, O. J. R.; PIMENTEL GARCIA, F. C.; ISHIKIRIAMA, S. K.; HONÓRIO, H. M.; WANG, L. Influence of 2% chlorhexidine digluconate on bond strength of a glass-fibre

post luted with resin or glass-ionomer based cement. *Journal of Dentistry*, v. 42, n. 6, p. 735-41, 2014.

18. DE OLIVEIRA, R. R.; NOVAES Jr, A. B.; GARLET, G. P. The effect of a single episode of antimicrobial photodynamic therapy in the treatment of experimental periodontitis. Microbiological profile and cytokine pattern in the dog mandible. *Lasers Med Sci*, v. 26, n. 3, p. 359-367, 2011.

19. DE CASTRO, F. P.; PINHEIRO, S. L.; DUARTE, M. A.; DUQUE, J. A.; FERNANDES, S. L.; ANCHIETA, R. B.; DA SILVEIRA BUENO, C. E.

Effect of time and ultrasonic activation on ethylenediaminetetraacetic acid on smear layer removal of the root canal. *Microscopy Research Technique*. 2016.

20. DOLMANS, D. J. G. J.; FUKUMURA, D.; JAIN, R. Photodynamic therapy for cancer. *Nature Reviews*. v. 3, p. 380-387, 2003.

21. EKIM, S. N. A.; ERDEMIR, A. Effect of different irrigant activation protocols on push-out bond strength. *Lasers Med Sci.*, v. 30, n. 8, p. 2143-2149, 2015.

22. FARINA, A.P.; CHIELA, H.; CARLINI-JUNIOR, B.; MESQUITA, M. F.; MIYAGAKI, D. C.; RANDI

FERRAZ, C.C.; VIDAL, C.M.; CECCHIN, D. Influence of Cement Type and Relining Procedure on Push-Out Bond Strength of Fiber Posts after Cyclic Loading. *J Prosthodont*, v.10, n.11, p. 1-7, 2015.

23. FARIA-E-SILVA, L. A.; MENEZES, S.; SILVA, F.P.; REIS, G.R.; MORAES, M. M. Intra-radicular dentin treatments and retention of fiber posts with self-adhesive resin cements. *Braz. oral res*, v. 27, n.1, p. 14-19, 2009.

24. FURUSE, A. Y.; CUNHA, L. F.; BARATTO, S. P.; LEONARDI, D. P.; HARAGUSHIKU, G. A.; GONZAGA, C. C. Bond strength of fiber-reinforced posts to deproteinized root canal dentin. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, v. 15, n. 5, p. 581-6, 2014.

25. GHINZELI, G. C.; SOUZA, M. A.; CECCHIN, D.; FARINA, A. P.; DE FIGUEIREDO, J.A. Influence of ultrasonic activation on photodynamic therapy over root canal system infected with *Enterococcus faecalis*--an in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 11, n. 4, p. 472-478, 2014.

26. GRANDINI, S.; GORACCI, C.; MONTICELLI, F.; BORRACCHINI, A.; FERRARI, M. SEM evaluation of the

cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent*, v.7, n. 3, p. 235–240, 2003.

27. HUANG, S. H.; LIN, L. S.; RUDNEY, J.; JONES, R.; APARICIO, C.; LIN, C. P.; FOK, A. A novel dentin bond strength measurement technique using a composite disk in diametral compression. *Acta Biomaterials*, v. 8, p. 15971602, 2012.

28. HUANG, S. H.; LIN, L. S.; FOK, A. S. L.; LIN, C. P. Diametral compression test with composite disk for dentin bond strength measurement – Finite element analysis. *Dental Materials*, v. 28, p. 1098-1104, 2012.

29. KATAOKA, M.; SASAKI, M.; HIDALGO, A.R.; NAKANO, M.; SHIMIZU, S. Glycolic acid production using ethylene glycol-oxidizing microorganisms. *Biosci Biotechnol Biochem*, v. 65, n. 10, p. 2265-2270, 2001.

30. KAKEHASHI, S.; STANLEY, H. R.; FITZGERALD, R. J. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, v. 20, p. 340-349, 1965.

31. KUDEN, C.; KARAKAS, S. N.; Photodynamic therapy and gaseous ozone versus conventional post space treatment methods on the push-out bond strength of fiber

posts luting with different resin cements. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 36, 2021.

32. KÜÇÜKEKENCİ F.; KÜÇÜKEKENCİ, A. S.; Effect of ultrasonic and Nd: Yag laser activation on irrigants on the push-out bond strength of fiber post to the root canal. *Journal of Applied Oral Science*. v. 27, 2019.

33. LACERDA, R. F. S. Resistência de união de cimentos resinosos autoadesivos e autocondicionantes em esmalte e dentina. Tese (Mestrado em Materiais Dentários) – Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2013.

34. LASSILA, L.V. J.; TANNER, J.; LE-BELL, A. M.; NARVA, K.; VALLITTU, P. K. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater*, v. 20, n. 1, p. 29-36, 2004.

35. LI, K.; GUO, J.; LI, Y.; HEO, Y. C.; CHEN, J.; XIN, H.; FOK, A. Accelerated fatigue testing of dentin-composite bond with continuously increasing load. *The Academy of Dental Materials*, v. 33, p. 681-689, 2017.

36. LI, Y.; CARRERA, C.; CHENB, R.; LI, J.; CHENA, Y.; LENTONB, P.; RUDNEY, J. D.; JONESC, R. S.; APARICIO, C.; FOK, A. Fatigue failure of dentin–

composite disks subjected to cyclic diametral compression. *Dental Materials*, v. 31, p. 778-788, 2015.

37. MACHADO, A. E. H.; Terapia fotodinâmica: princípios, potencial de aplicação e perspectivas. *Quim Nova*, v. 23, p. 237- 243, 2000.

38. MACEDO, G. V.; YAMAUCHI, M.; BEDRAN-RUSSO, A. K. Effects of Chemical Cross-linkers on Cariesaffected Dentin Bonding. *J Dent Res*, v. 88, n.12, p. 1096-1100, 2010.

39. PELEGRINE, R. A; PAULILO, L A; KATO, A. S; FONTANA, C. E.; PINHEIRO, S. L.; DE MARTIN, A. S.; BUENO, C. E. Effect of Endodontic Retreatment on Push-out Bond Strength and Quality of Fiber Postbonding Interface of Resin Cements. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, v. 17, n. 1, p. 42-8,2016.

40. PEREIRA, J.R.; LINS DO VALLE, A.; GHIZONI, J.S.; LORENZONI, F.C.; RAMOS, M.B.; DOS REIS SÓ, M.V. Push-out bond strengths of different dental cements used to cement glass fiber posts. *J Prosthet Dent*, v. 110, n. 2, p. 134-140, 2013.

41. PINTO, C.L.; BHERING, C.L.B.; DE OLIVEIRA, G.R.; MAROLI, A.; REGINATO, V.F.; CALDAS, R.A.;

BACCHI, A. The Influence of Post System Design and Material on the Biomechanical Behavior of Teeth with Little Remaining Coronal Structure. *J Prosthodont*, p. 1-7, 2018.

42. PRADO, M.; GUSMAN, H.; GOMES, B. P.; SIMÃO, R. A.; Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *Journal Of Endodontics*, v. 37, n. 2, fev., 2011.

43. PRAZMO, E. J.; KWASNY, M.; LAPINSKI, M.; MIELCZAREK, A. Photodynamic Therapy a Promising Method Used in the Treatment of Oral Diseases. *Adv Clin Exp Med*, v. 25, n. 4, p. 799-807, 2016.

44. RAMOS, A. T. P. R.; BELIZARIO, G. L.; VENÇÃO, A. C.; JORDÃO BASSO, K. C. F.; RASTELLI, A. N. S.; ANDRADE, M. F.; KUGA, M. C. Effects of Photodynamic Therapy on the Adhesive Interface of Fiber Posts Cementation Protocols. *Journal of endodontics*, v. 44, n. 1, p. 173-178, 2018.

45. RIBEIRO, E. M.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; SOUZANETO, M. D.; LORENCETTI, K. T.; SILVA, S. R. Debris and smear removal in flattened root

canals after use of different irrigant agitation protocols. *Microsc Res Tech*, v. 17, 2012.

46. SAKER, S.; ÖZCAN, M. Retentive strength of fiber-reinforced composite posts with composite resin cores: Effect of remaining coronal structure and root canal dentin conditioning protocols. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 114, n. 6, p. 856–861, 2015.

47. SAHYON, H. B. S.; DA SILVA, P. P.; OLIVEIRA, M. S.; CINTRA, L. T. A.; GOMES-FILJO, J. E.; SANTOS, P. H.; SIVIERI-ARAÚJO, G. Effect of photodynamic therapy on the mechanical properties and bond strength of glass-fiber posts to endodontically treated intraradicular dentin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 120, n. 2, p. 317, 2018.

48. SALAMEH, Z.; OUNSI, H. F.; ABOUSHELIB, M. N.; SADIG, W.; FERRARI, M. Fracture resistance and failure patterns endodontically treated mandibular molars with and without fiber-post in combination with a zirconiaceramic crown. *J Dent*, v. 36, n. 7, p. 513–519, 2008.

49. SCHAEFFER, B.; D'AVIZ, F. S.; GHIGGI, P. C.; KLASSMANN, L. M.; Photodynamic Therapy in

Endodontics: literature review. *Journal of Oral Investigations*, v. 8, n. 1, junho. 2019.

50. SCOTTI, N.; BERGANTIN, E.; TEMPESTA, R.; TURCO, G.; BRESCHI, L.; FARINA, E.; PASQUALINI, D.; BERUTTI, E. Influence of dentin pretreatment with synthetic hydroxyapatite application on the bond strength of fiber posts luted with 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphatecontaining luting systems. *Eur J Oral Sci*, v. 124, n. 5, p. 504-509, 2016.

51. SHAHRAVAN, A; HAGHDOOST, A. A.; ADL A; et al. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*, v. 33, p. 96–105, 2007.

52. SOUZA, M. A.; DIAS, C. T.; ZANDONÁ, J.; HOFFMANN, I. P.; et al. Antimicrobial activity of hypochlorite solutions and reciprocating instrumentation associated with photodynamic therapy on root canals infected with *Enterococcus faecalis* – an in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 23, p. 347-352, 2018.

53. SOUZA, M. A.; PAZINATTO, B.; BISCHOFF, K. F.; PALHANO, H. S.; CECCHIN, D.; DE FIGUEIREDO, J. A. Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the

removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 17, p. 216-220, 2017.

54. SOUZA, M. A.; RAUBER, M. G. P.; ZUCCHI, N.; BONACINA, L.V.; RICCI, R. DIAS, C. T.; BISCHOFF, K. F.; ENGELMANN, J. L.; PALHANO, H. S. Influence of final irrigation protocols and endodontic sealer on bond strength of root filling material with root dentin previously treated with photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. v. 26, p. 137- 141, 2019.

55. SOUZA, M. A.; BONACIA, L.V; RICCI. R.; PADILHA RUBER, M. G; ZUCHI, N.; HOFFMANN, I. P.; BISCHOFF, K. F.; ENGELMANN, J. L.; PALHANO, H. S.; CECCHIN, D. Influence of final irrigation protocols and type of resin cement on bond strength of glass fiber posts in root dentin previously treated with photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. v. 26, p. 224- 228, 2019.

56. STRAZZI-SAHYON, H. B.; DA SILVA, P. P; OLIVEIRA. M. S.; BANCI, H. A.; MELO, F. S.; GOMES-FILHO, J. E.; DEZAN-JUNIOR, E.; SANTOS, P. H.; SIVIERI-ARAÚJO, G. Does Photodynamic Therapy With Methylene Blue Affect the Mechanical Properties and Bond

Strength of Glass-Fiber Posts in Different Thirds of Intraradicular Dentin? *Photodiagnosis Photodyn Ther.*, v. 24, 2020.

57. TORABINEJAD, M; HANDYSIDES, R; KHADEMI, A. A; et al. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Rad and Endod*, v. 94, p. 658-666, 2002.

58. VAN DER SLUIS, L. W. M; VERSLUIS, M; WU, M. K; WESSELINK, P. R. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Journal of endodontics*, v. 40, p. 415–426, 2007.

59. VELMURUGAN, N.; PARAMESWARAN, A. Custommade resin post and core. *Oper Dent*, v.29, n.1, p.112-4, 2004.

60. VIDAL, C. M. P.; LAROY, C.; TOLEDO, D. C.; ALMEIDA, L. M.; QIAN, F.; HILGERT, L. A.; BEDRAN-RUSSO, A. K. Hydroxy acids for adhesion to enamel and dentin: Long-term bonding performance and effect on dentin biostability. *Journal of Dentistry*. v. 107, 2021.

61. VOHRA, F.; BUKHARI, I. A.; SHEIKH, S. A.; NASEEM, M.; HUSSAIN, M. Photodynamic Therapy and Activations of Irrigation (Using Different Laser Prototypes)

on Push Out Bond Strength of Fiber Posts. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* v. 19, 2020.

62. WAINWRIGHT, M. Photodynamic antimicrobial chemotherapy (PACT). *J Antimicrob Chemother*, v. 42, n. 1, p. 13-28, 1998.

63. YAVARI, H.; GHASEMI, N.; DIVBAND, B.; REZAEI, Y.; JABBARI, G.; PAYAHOO, S. The effect of photodynamic therapy and polymer solution containing nano-particles of Ag /ZnO on push-out bond strength of the sealers AH-Plus and MTA Fillapex. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. v. 9, n. 9, p. 1109-1114, 2017.

64. ZAYTSEV, D. Correction of some mechanical characteristics of human dentin under compression considering the shape effect. *Materials Science and Engineering C*, v. 49, p. 101-105, 2015.

65. ZAYTSEV, D.; PANFILOV, P. Deformation behavior of human dentin in liquid nitrogen: A diametral compression test. *Mater. Sci. Eng. C*, v. 42, p. 48-51, 2014.

66. ZHU L.; LI, Y.; CHEN, Y. C.; CARRERA, C. A.; CHONG, W.; FOK, A. Comparison between two postdentin bond strength measurement methods. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2018.



Artigo será submetido à Revista Photodiagnosis and Photodynamic Therapy.

**Influência de diferentes irrigantes finais, ativação ultrassônica e terapia fotodinâmica na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular**

Patrícia Canova Maso<sup>1</sup>, João Paulo De Carli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: patriciamaso00@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Prótese Dentária e Implantodontia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: joaodecarli@upf.br

Autor correspondente:

Patrícia Canova Maso

E-mail: patriciamaso00@gmail.com

Faculdade de Odontologia da Universidade de Passo Fundo, Prédio A7, BR 285, São José, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 99042-800

Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento específico de agências dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

Declarações de interesse: nenhum.

## **Abstract**

Objective: to evaluate the influence of different final irrigants, ultrasonic activation (US) and photodynamic therapy (PDT) on the bond strength of glass fiber post (GFP) to root dentin. Methods: 120 bovine roots were sectioned into 2mm slices. The samples were divided into 12 groups (n=10): G1-AD (distilled water); G2-AD+US; G3-EDTA 17%; G4-EDTA 17%+US; G5-AG (glycolic acid) 17%; G6-AG 17%+US; G7-PDT+AD; G8-PDT+AD+US; G9-PDT+EDTA 17%; G10-PDT+17% EDTA+US; G11-PDT+AG 17%; G12-PDT+AG 17%+US. Push out (PO) and diametral compression (DC) values were analyzed using the Kruskal-Wallis and Student-Newman-Keuls tests, and the relationship between PO and CD values was analyzed using Pearson's correlation test. Failure patterns were analyzed by the chi-square test. Results: In the PO test, there was a difference between the experimental groups ( $p < 0.001$ ; power=1.00) for the three substances. When EDTA was used, PDT optimized the bond strength. When AG was used, the application of US and PDT resulted in higher bond strength. Favorable failure patterns (types 1 and 5) were more frequent in Group 6

(AG+US). No relationship was found between bond strength by the PO and CD tests ( $r=0.112$ ;  $p=0.729$ ). Conclusion: In the PO test, AG, especially associated with US and PDT, increases the bond strength of GFP to root dentin. The AG+US association promoted the most favorable failure patterns. The PO test has greater applicability in assessing the bond strength of GFP to root dentin.

**Keywords:** Photodynamic therapy. Ethylenediaminetetraacetic acid. Glycolic acid. Push out. Diametric compression.

## **Introdução**

A utilização de retentores intrarradiculares é recomendada quando o dente não apresenta estrutura coronária suficiente para receber uma restauração final [1,2]. Os pinos de fibra de vidro oferecem resistência à flexão e módulo de elasticidade semelhantes à dentina, minimizando as tensões transmitidas à raiz e reduzindo a possibilidade de falhas irreparáveis do elemento dental [3,4,5].

Os microrganismos desempenham papel fundamental na indução e perpetuação das alterações patológicas que

acometem a polpa e os tecidos periapicais [6]. Assim, se faz necessário o uso de irrigantes endodônticos finais e recursos auxiliares que visam contribuir com o processo de descontaminação do sistema de canais radiculares, a exemplo da terapia fotodinâmica (PDT) e ativação ultrassônica (US). Em relação aos irrigantes endodônticos finais, é possível relatar que existem poucos estudos relacionados ao uso do ácido glicólico em substituição ao EDTA, o que realça a importância dos achados de Cecchin *et al.* [7], os quais observaram que o ácido glicólico condicionou de forma satisfatória o esmalte e a dentina, induzindo uma melhora significativa na adesão de materiais restauradores nestas superfícies.

Inicialmente idealizada para o combate ao câncer, a PDT vem ganhando espaço na odontologia devido a sua efetividade antimicrobiana. Tal procedimento tem sido considerado uma nova modalidade para desinfecção dos canais radiculares, envolvendo a associação entre uma fonte de luz por um laser de baixa potência e um fotossensibilizador não tóxico [8]. Machado *et al.* [9] demonstram também ser a PDT efetiva no combate aos patógenos endodônticos, apresentando, no entanto, ressalvas quanto à qualidade da resistência de união

adesiva, necessária para a cimentação de pinos de fibra de vidro intrarradiculares [10].

Por sua vez, a ativação ultrassônica, ocorre através de um dispositivo inserido no interior do canal radicular, promovendo a agitação mecânica da substância química auxiliar ou irrigante final, que serão impulsionadas para as regiões de complexidade anatômica, contribuindo para a remoção de detritos e de microrganismos do sistema de canais radiculares [11].

Para a avaliação da resistência adesiva, o teste de compressão diametral (CD) está sendo utilizado em comparação ao teste de *push out* (PO). Isso porque o teste de CD induz uma tensão de tração na direção transversal à carga compressiva aplicada, que divide a amostra redonda em duas metades ao longo do diâmetro [12,13]. Quando comparado com o teste PO, a CD é mais fácil de realizar para determinar a resistência de união entre os pinos e a dentina, pois nenhum alinhamento de amostra é necessário e produz um desvio-padrão menor [13].

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular através de testes de *push out* e compressão diametral, testando a

influência da ativação ultrassônica em diferentes irrigantes finais, associados ou não à terapia fotodinâmica (PDT).

## **Materiais e métodos**

### **Seleção e preparo das amostras**

Foram extraídos 200 dentes bovinos unirradiculares em abatedouros comerciais, após o abate dos animais para consumo de carne e derivados. Destes dentes, foram selecionados apenas aqueles com as dimensões externas semelhantes e condutos radiculares estreitos, resultando em uma amostra final de 120 dentes. Imediatamente após a extração, os dentes foram armazenados em caixa de isopor com gelo e logo após, armazenados em *freezer* a  $-17^{\circ}\text{C}$ , para evitar qualquer degradação do colágeno e das estruturas dentinárias até o momento de sua utilização. Os dentes ficaram armazenados em sacos plásticos com 10 unidades cada para serem descongelados gradualmente, conforme o uso.

Todos os passos operatórios e preparo das amostras foram realizados por um operador previamente treinado. Inicialmente, a porção coronária dos dentes foi seccionada

com disco diamantado dupla face (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) acoplado a uma peça reta de baixa rotação, sob refrigeração constante, abaixo da junção amelocementária, de forma que o remanescente radicular apresentasse um comprimento de 15mm. Os dentes receberam marcações de referência nas superfícies radiculares por meio de uma caneta de retroprojektor, sendo a primeira marcação 2mm abaixo do limite amelocementário, a segunda marca 2mm acima do ápice radicular, e última marcação na metade da distância entre as duas marcas anteriormente descritas. Essas medidas foram realizadas com auxílio de um paquímetro digital (Vonder Paquímetro Eletrônico Digital, Curitiba, PR, Brasil).

Além disso, o diâmetro do conduto radicular foi avaliado como método de inclusão e exclusão dos dentes. Para isso, foram selecionados dentes com lima anatômica inicial (#45), padronizando-a para todos os dentes em estudo. Todas as raízes foram preparadas utilizando o mesmo protocolo. O tecido pulpar presente foi removido por meio de limas endodônticas tipo K (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) #45, sob abundante irrigação com água destilada (DW). Em seguida, os canais radiculares foram ampliados na direção

cervico-apical utilizando brocas largo #6 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em baixa rotação, sob abundante irrigação com água destilada. O diâmetro interno do conduto radicular foi padronizado em 2 mm e o diâmetro externo das amostras em 5 mm, utilizando-se lixa d'água número 600 sob irrigação (3M-ESPE, St. Paul, MN, EUA), (Figura 1) [13,14,15].

### **Classificação dos tratamentos dos grupos**

Após o preparo, as amostras foram divididas em doze grupos (n=10), de acordo com a aplicação de diferentes soluções irrigantes finais, aplicação ou não de ultrassom, e com a aplicação ou não de PDT, conforme segue abaixo:

G1 – água destilada

G2 – água destilada + ativação ultrassônica

G3 – EDTA 17%

G4 – EDTA 17% + ativação ultrassônica

G5 – Ácido glicólico 17%

G6 - Ácido glicólico 17% + ativação ultrassônica

G7 –PDT + água destilada

G8 – PDT+ água destilada + ativação ultrassônica

G9 – PDT + EDTA 17%

G10 – PDT + EDTA 17% + ativação ultrassônica

G11 – PDT + Ácido glicólico 17%

G12 – PDT + Ácido glicólico 17% + ativação ultrassônica

### **Irrigação final e ativação ultrassônica**

Nos Grupos 1, 3 e 5, após a instrumentação, realizou-se uma lavagem final com 5mL da respectiva solução irrigadora final: água destilada (G1), EDTA 17% (G3) ou ácido glicólico a 17% (G5), as quais permaneceram em contato com as paredes do canal durante 30s. Nos Grupos 2, 4 e 6, realizou-se a ativação ultrassônica das soluções irrigantes finais. Os canais radiculares foram preenchidos com os respectivos irrigantes finais testados, que permaneceram em contato com as paredes do canal pelo período de 30s, sendo que durante todo esse tempo, realizou-se a ativação ultrassônica dos mesmos. Para inserção dos irrigantes finais testados no interior dos canais radiculares foi utilizada

seringa descartável estéril e agulha de calibre 30 (Navi-Tip, Ultradent, South Jordan, UT, EUA). Para a realização da ativação ultrassônica, uma ponta endodôntica de aço inoxidável (E1 Irrisonic Helse Ultrasonic) foi inserida até encontrar resistência, fazendo um breve recuo, estando em contato com o irrigante final testado, e ativada por 30s, utilizando a escala 2 de potência do dispositivo de ultrassom (Nac Plus, Adiel, Ribeirão Preto, SP, Brasil).

Ao término dos protocolos de irrigação final, realizou-se uma irrigação com 5mL de água destilada e os canais radiculares de todos os grupos foram aspirados e secos com cones de papel absorvente calibre #80 (Tanari, Manaus, AM, Brasil).

### **Terapia fotodinâmica (PDT)**

Nos Grupos 7 a 12 replicou-se a metodologia dos Grupos 1 a 6, porém foi aplicado o protocolo de PDT, imediatamente após o preparo químico mecânico e previamente à irrigação final. Para tal, preencheu-se os canais radiculares com 0,01% (0,1mg/mL) de azul de metileno (Chimio Lux DMC, São Carlos, SP, Brasil) até o extravasamento na entrada do canal radicular. O corante permaneceu no canal radicular por 5min

(tempo de pré-irradiação). Depois disso, foi utilizado um laser de baixa intensidade (Therapy XT® DMC, São Carlos, SP, Brasil), com 100mW de potência, de emissão contínua e espectro de luz vermelha (660690nm de comprimento de onda), utilizando uma fibra óptica intracanal com um diâmetro de 600µm inserida 3mm aquém do comprimento de trabalho. Os canais radiculares foram irradiados por 90s, fornecendo uma dose total de 9J e densidade de energia de 320J/cm<sup>2</sup>, enquanto a fibra intracanal permaneceu em posição estática. Após a PDT, os canais radiculares foram irrigados com 5mL de AD, antes da irrigação com a respectiva solução irrigante final e ativação ultrassônica.

### **Preparo dos pinos de fibra de vidro**

Utilizou-se o retentor intrarradicular Reforpost® Fibra De Vidro (Angelus, Londrina, PR, Brasil) reembasado com resina composta fotoativada (Z 250, 3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), [16,17,18,19,20].

Inicialmente foi realizado o preparo do pino com aplicação de ácido fosfórico 37% (Condac 37%, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) sobre a superfície do pino (para

limpeza) durante 1min, lavagem por 1min, secagem com jatos de ar, aplicação de silano (ANGELUS, Londrina, PR, Brasil) com um microaplicador cavibrush (FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) friccionando sobre a estrutura do pino e aguardando 1min para volatilizar o álcool presente em sua composição. Na sequência, aplicou-se uma fina camada do sistema adesivo Ambar APS (FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) sobre a superfície do pino e fotoativação em 2 faces por 40s cada face.

Para confecção do pino reembasado, primeiramente o canal foi isolado com gel hidrossolúvel (Natrosol, Natupharma, Passo Fundo, RS, Brasil). Em seguida, o pino de fibra de vidro foi envolvido com resina composta e o conjunto levado ao interior do canal radicular, o qual foi retirado e recolocado 2 vezes, removendo-se os excessos de compósito e fotoativando-o em posição no interior do canal por 3s.

A seguir, foi realizada uma marcação na região vestibular do pino e do dente, objetivando identificar a posição correta de inserção do pino na etapa de cimentação. Em seguida, o pino modelado foi removido do interior do canal radicular e fotoativado imediatamente na superfície vestibular e palatina por 40s cada face. Após, irrigou-se o canal abundantemente

com água destilada durante 1min a fim de remover completamente o gel hidrossolúvel, tendo sido o pino reembasado também lavado abundantemente. O canal foi aspirado com cânula endodôntica estreita, até a completa remoção da água. Logo após, um cone de papel absorvente #45 úmido com água destilada foi delicadamente passado nas paredes do canal radicular para deixar a dentina úmida.

### **Cimentação do retentor intrarradicular**

Após a modelagem do pino, realizou-se a cimentação do mesmo com cimento resinoso autoadesivo dual RelyX U200 (3M-ESPE, St. Paul, MN, EUA), o qual foi dispensado sobre um bloco de papel impermeável e manipulado por 10s. Com o auxílio de seringas do sistema Cêntrix e agulha Acudosse nº2 (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), o cimento foi levado ao interior do canal radicular. O pino então foi posicionado no interior do canal radicular, estabilizado manualmente por 20s e realizada uma fotopolimerização por 5s. Após, foram removidos os excessos de cimento, e logo realizou-se fotoativação final por 40s em 4 faces do dente (mesial, distal, vestibular e lingual).

## **Obtenção dos espécimes em forma de fatias**

As raízes foram fixadas em uma placa de resina acrílica com cera pegajosa e em seguida adaptadas a uma cortadora metalográfica (Miniton, Struers, Copenhagen, Denmark) com disco diamantado dupla face, acionado a uma velocidade de 250 rotações por minuto (rpm) sob refrigeração. Foram utilizados 10 dentes por grupo. Foram obtidas cinco fatias de cada dente, sendo a primeira fatia descartada. Para análise, foram selecionadas duas fatias do terço cervical e duas do terço médio, com espessura de aproximadamente 2mm cada. Uma amostra de cada terço foi utilizada para avaliação no teste de PO, e uma amostra de cada terço foi avaliada pelo teste de CD (Figura 2), tendo-se obtido 10 amostras por terço para cada método avaliado (n=10), definido pelo poder do teste e artigos anteriores já publicados [21,22,23]. Todas as amostras foram marcadas com grafite na sua superfície mais apical, para permitir o correto posicionamento da amostra na máquina para o teste de PO.

## **Teste de *Push Out* (PO)**

Para o teste de PO, os discos confeccionados foram posicionados com a parte cervical do corte voltada para baixo sobre a mesa (perfurada no centro) do dispositivo. Uma força vertical de cima para baixo foi aplicada perpendicularmente ao conjunto pino/resina/cimento por meio de um pistão metálico, o qual apresenta secção circular. O diâmetro deste pistão cobria a maior área possível do conjunto restaurador, sem tocar as paredes de dentina. O pistão metálico estava conectado a uma máquina de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) com célula de carga de 500N. O teste foi realizado com uma velocidade de 0,5mm/min e a carga foi aplicada até que ocorresse a extrusão do conjunto pino/resina/cimento. A partir disso analisou-se, no computador conectado à máquina, a medida de força, em newtons (N), necessária para o deslocamento do material. Após a realização do teste de PO, os discos de dentina foram observados individualmente em microscópio óptico (Carl Zeiss, São Paulo, SP, Brasil) acoplado ao computador, em um aumento de 50x. A área foi calculada pela fórmula da área do cilindro  $A=2\pi R(R+H)$ . A resistência de união foi

calculada em MPa, através da divisão da força em N obtida no teste de PO pela área (A) de superfície do canal.

Ao mesmo tempo da realização das medidas, no microscópio óptico (Estereomicroscópio, Série ZTX Zoom) foram observados e classificados os padrões de falha de cada amostra em 5 tipos [24]: (1) adesiva entre compósito e cimento resinoso (cimento não visível em volta do compósito); (2) mista, com cimento resinoso cobrindo de 0 a 50% do diâmetro total do compósito; (3) mista com cimento resinoso cobrindo de 50 a 100% da superfície do compósito; (4) adesiva entre cimento resinoso e dentina radicular (compósito envolvido por cimento resinoso) e (5) coesiva em dentina.

### **Teste de Compressão Diametral (CD)**

A CD foi realizada utilizando duas placas de aço horizontais e paralelas, como mostrado na Figura 5A. As amostras em forma de fatias foram posicionadas na base do dispositivo Bencor Multi-T (Danville Engineering, San Ramon, CA, EUA), que estava acoplado a uma máquina de ensaios universal (EMIC-2000 DL, EMIC Equipamentos e Sistemas

de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil). Foi aplicada uma carga de compressão perpendicular ao eixo longitudinal da amostra, utilizando uma célula de carga de 2000N, a uma velocidade de 0,5mm/min até a fratura da amostra. A resistência à tração por CD (DTS) foi calculada pela equação:

$$DTS=2F/\pi dh$$

onde F é a força aplicada no momento da fratura,  $\pi = 3,1416$ , d é o diâmetro e h é a altura da amostra.

Foi projetado um modelo de análise por elementos finitos (FEA) para realizar a avaliação dos corpos-de-prova submetidos ao teste de compressão diametral (Fig. 5B).

### **Análise estatística**

Os dados de resistência de união por *push out* não passaram no teste de normalidade de Shapiro-Wilk e no teste de variância semelhante ( $p < 0,05$ ). Assim, foram analisados pelo teste não paramétrico de Kruskal- Wallis e teste de comparação de Student-Newman-Keuls. Os padrões de falha após os testes de PO foram analisados pelo teste qui-

quadrado. Os testes estatísticos foram realizados em um nível de significância de 5%.

Os dados de tensão máxima obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral não passaram no teste de variância semelhante ( $p < 0,05$ ). Foi realizado teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e teste de comparação de Student-Newman-Keuls, com nível de significância de 5%.

Foi realizado o teste de correlação de Pearson com nível de significância de 5% para verificar a relação entre os valores de resistência de união pelo teste de *push out* e a tensão máxima de resistência à tração por compressão diametral dos grupos experimentais.

## **Resultados**

Os valores de resistência de união por *push out* para os grupos experimentais encontram-se na Tabela 1. Houve diferença estatística entre os grupos experimentais ( $p < 0,001$ ; poder = 1,00) para as três substâncias, o uso do ultrassom e a terapia fotodinâmica em relação à resistência de união com a dentina. Quando o EDTA foi utilizado, a terapia fotodinâmica resultou em maiores valores de resistência de união. Quando o AG foi

utilizado, o ultrassom apenas e a combinação de ultrassom com terapia fotodinâmica foram os tratamentos que resultaram em maiores valores de resistência de união.

Os dados de modo de falha dos corpos-de-prova dos diferentes grupos experimentais após o ensaio de resistência de união por *push out* encontram-se na Tabela 2. Houve relação significativa entre o modo de falha dos corpos-de-prova submetidos ao teste de resistência de união *por push out* e o grupo experimental ( $p=0,002$ ).

Nota-se que o padrão de falha tipo 1 (adesiva entre compósito e cimento resinoso com manutenção do cimento sobre a dentina) foi mais comum nos Grupos 3 (EDTA), 5 (AG), 6 (AG+US) e 11 (AG+PDT). O padrão de falha tipo 5 (coesiva em dentina) foi mais comum nos Grupos 6 (AG+US) e 10 (EDTA+US+PDT). O Grupo 6 (AG+US) foi o que apresentou maior índice de padrões de falha favoráveis (tipos 1 e 5), seguido pelos Grupos 3, 5, 10 e 11, os quais envolvem EDTA ou AG, acompanhados ou não de US e PDT.

Os valores de tensão máxima no ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os grupos experimentais encontram-se na Tabela 3. Houve diferença estatística entre os grupos experimentais ( $p<0,001$ ). O grupo tratado com

EDTA+PDT (G9) mostrou os maiores valores de tensão máxima, seguido pelos grupos EDTA, EDTA+US+PDT e AG+PDT (G3, G10 e G11). Os grupos tratados com água destilada sem e com ultrassom (G1 e G2) apresentaram os menores valores de tensão máxima.

Não foi encontrada relação entre a resistência de união pelo teste de *push out* e a tensão máxima de resistência à tração por compressão diametral para os grupos experimentais ( $r=0,112$ ;  $p=0,729$ ) (Figura 6). A Figura 7 mostra os diagramas representativos da distribuição de tensões durante o teste de compressão diametral, obtidas pela FEA.

## **Discussão**

O uso de retentores de fibra de vidro é uma alternativa reabilitadora consagrada no dia-a-dia clínico e foi a modalidade terapêutica testada no presente estudo. A primeira hipótese deste estudo foi aceita, uma vez que houve diferença na resistência de união por PO entre pinos de fibra de vidro e

dentina radicular frente à aplicação de PDT, diferentes irrigantes endodônticos finais e ativação ultrassônica dos mesmos.

Os resultados do presente estudo demonstraram que os grupos irrigados com ácido glicólico (AG) apresentaram os maiores valores de resistência de união quando tal substância foi ativada com ultrassom (G6) ou quando foi ativada com ultrassom e submetida à terapia fotodinâmica (G12). Os resultados encontrados no presente estudo vêm ao encontro da literatura, quando esta afirma que o AG não afeta negativamente as propriedades químico mecânicas e não aumenta a erosão da dentina quando comparado ao EDTA [25,26,27]. Cecchin *et al.* [7], ao estudarem o AG em comparação ao ácido fosfórico, também afirmam que o AG condiciona efetivamente as superfícies de esmalte e dentina, resultando em valores de resistência de união semelhantes aos associados ao ácido fosfórico tradicional. Assim, os autores afirmam que o AG é um condicionador de superfície de esmalte e dentina adequado para procedimentos restauradores adesivos.

Ainda em relação aos irrigantes endodônticos finais utilizados, pôde-se observar que o EDTA apresentou seus

maiores valores de resistência de união quando foi aplicado em associação com a PDT. Tal resultado demonstra que a terapia fotodinâmica não influencia negativamente na resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina. Yavari *et al.* [28] avaliaram o efeito da PDT na resistência adesiva de cimentos endodônticos resinosos por *push out* utilizando cinquenta dentes humanos unirradiculares, concluindo que a PDT apresenta um efeito positivo na resistência adesiva do AH Plus e MTA Fillapex à dentina radicular. Os autores explicam tais resultados com base no fato que a irradiação a laser na superfície dentinária remove a *smear layer* e causa alterações na morfologia da dentina, aumentando assim a adesão, por aumentar as irregularidades e a superfície de contato da dentina, o que pôde ser confirmado por microscopia eletrônica de varredura.

Por outro lado, de acordo com estudo de Vohra *et al.* [29], ao analisarem cinquenta dentes humanos, a PDT, quando utilizada de maneira isolada, diminuiu a resistência de pinos de fibra de vidro ao *push out* em comparação com o método convencional de limpeza de canais. Segundo os autores, tal resultado pode se dever à remoção imparcial da *smear layer*, impedindo a penetração do cimento resinoso no local. Além

disso, a liberação de radicais livres oriundos do fotossensibilizador pode danificar a camada híbrida, comprometendo a adesão. Deve-se, no entanto, ressaltar que Vohra *et al.* [29] não estudaram um grupo que associasse PDT ao EDTA, conforme realizado no presente estudo. Tal fato aponta que a aplicação da PDT seguida da irrigação com EDTA pode não influenciar negativamente na resistência adesiva, provavelmente pela ação quelante que esta substância produz nos canalículos dentinários após a aplicação do fotossensibilizador e da luz laser.

Ainda em se tratando da influência da PDT na resistência adesiva de GFP à dentina radicular, Al Jeaidi [30] realizou um estudo *in vitro* com 60 dentes humanos unirradulares, utilizando-se da metodologia *push out*, comparando cimento resinoso convencional e autoadesivo, e utilizando como tratamentos dos canais radiculares a PDT, associação de NaOCl 5,25% com EDTA ou NaOCl 1%. Como resultado, o autor notou que os grupos desinfetados com PDT, independente do tipo de cimento utilizado, mostraram baixos valores de resistência de união. Segundo os autores deste estudo, o fotossensibilizador azul de metileno apresenta natureza catiônica e se liga a moléculas aniônicas, ou seja,

cálcio e fosfato presentes na dentina, desequilibrando a relação Ca/P e resultando em precipitação na dentina radicular. Assim, pode ocorrer um comprometimento da ação do cimento na dentina. Além disso, o azul de metileno é de natureza hidrofílica e tal hidrofiliabilidade pode absorver água da dentina radicular resultando em barreira física que deteriora a camada adesiva. Novamente, é importante lembrar que Al Jeaidi [30] não avaliou um grupo que associasse PDT e EDTA, conforme realizado no presente estudo. Tal fato aponta que a aplicação da PDT seguida da irrigação com EDTA pode não influenciar negativamente na resistência adesiva, fato que aconteceu na presente pesquisa.

Ressalta-se ainda o fato de que, quando não associado à ativação ultrassônica ou PDT, o AG (G5) apresentou resultados semelhantes ao EDTA utilizado de maneira isolada (G3), o que demonstra que o AG é uma substância passível de ser utilizada como irrigante endodôntico final, devendo no entanto, ser ativado por ultrassom a fim de potencializar os valores de resistência adesiva. O fato dos grupos irrigados com AG associado à ativação ultrassônica terem proporcionado melhores resultados de resistência adesiva encontram respaldo na literatura, quando a mesma reporta que

o ultrassom é utilizado na irrigação do sistema de canais radiculares com o objetivo de remover a camada de *smear layer* formada após o preparo químico mecânico, e que oblitera os canalículos dentinários [11,31], interferindo na resistência adesiva de materiais restauradores [32].

O fato da ativação ultrassônica dos irrigantes finais ter otimizado a resistência de união dos GFP à dentina radicular também vem ao encontro dos resultados de Barreto *et al.* [33]. Tais autores, utilizando-se de 90 raízes dentárias bovinas, avaliaram a influência de diferentes combinações de 3 técnicas finais de irrigação endodôntica (irrigação com pressão positiva, irrigação ultrassônica passiva e irrigação ultrassônica contínua) e 2 irrigantes (hipoclorito de sódio 5,25% e clorexidina 2%) na resistência ao *push out* de pinos de fibra de vidro. Concluíram que, independentemente da solução irrigadora, a irrigação ultrassônica contínua alcançou resistências de união significativamente maiores para pinos de fibra de vidro.

O presente estudo preconizou um tempo de irrigação final dos canais radiculares de 30s. Tal padronização tomou por base os estudos de Çalt & Serper [34], Prado *et al.* [35] e Cecchin *et al.* [7], que concluíram que agentes quelantes, quando

permanecerem por um período excessivo em contato com as paredes dentinárias, podem gerar erosão da dentina, causando danos às propriedades mecânicas e diminuindo sua resistência à fratura e resistência de união.

A segunda hipótese do presente estudo também foi aceita, uma vez que os modos de falha observados após o teste de PO variam conforme os irrigantes endodônticos finais, ativação ultrassônica dos mesmos e realização ou não de PDT.

Cecchin *et al.* [24] analisaram os modos de falha através de um microscópio óptico e classificaram-nos em 5 tipos: (1) falha adesiva entre compósito e cimento resinoso (cimento não visível em volta do compósito); (2) falha mista, com cimento resinoso cobrindo de 0 a 50% do diâmetro total do compósito; (3) falha mista com cimento resinoso cobrindo de 50 a 100% da superfície do compósito; (4) falha adesiva entre cimento resinoso e dentina radicular (compósito envolvido por cimento resinoso) e (5) falha coesiva em dentina, sendo 1, 2 e 5 os tipos de falha considerados mais favoráveis pelo fato da maior porção de cimento ter permanecido em contato com a dentina.

No presente estudo, as falhas do tipo 1 e tipo 5 foram mais observadas no grupo onde foi aplicado o AG em associação

com ativação ultrassônica. Tais resultados comprovam a eficácia da utilização do AG para aumento da resistência adesiva e reforçam o papel positivo do US nos valores de resistência de união entre materiais resinosos e a dentina radicular. Os resultados ora encontrados são semelhantes aos de Souza *et al.* [36], que relataram um maior número de falhas coesivas em dentina (tipo 5) ao analisarem por teste de *push out* cem dentes submetidos à terapia fotodinâmica e variando quanto ao protocolo de irrigação final, ativação ultrassônica e cimento resinoso. Segundo estes autores, o uso de US na irrigação final melhorou a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina, enquanto o tipo de cimento resinoso (dual ou autoadesivo) não influenciou na resistência de união.

Pode-se dizer que a terceira hipótese do presente estudo foi rejeitada, uma vez que os métodos de PO e CD não apresentam relação estatística ao se analisar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular obtida pelo teste PO com a tensão máxima de resistência à tração obtida pelo teste de CD ( $r=0,112$ ;  $p=0,729$ ).

Apesar do teste de CD consistir num método de fácil execução laboratorial [12,13,14], quando são avaliados

muitos grupos e muitas variáveis, como no presente estudo que contou com 120 corpos-de-prova para o teste CD, é necessário um tempo longo para a análise dos resultados, porque cada amostra deve ser analisada separadamente. Assim, optou-se por realizar a análise das médias de cada um dos doze grupos estudados por meio da análise de elementos finitos (FEA) para determinar as distribuições de tensões e tensão máxima de resistência à tração, ao invés de avaliar cada corpo-de-prova separadamente, conforme realizado no teste PO.

Além disso, é importante mencionar que o método FEA demonstrou que as tensões máximas durante o teste CD se concentravam na dentina radicular e não na interface adesiva, a qual consiste no ponto-alvo de avaliação do presente estudo. Assim, pode-se entender que a grande espessura de dentina ao redor da interface adesiva dentina-pino de fibra de vidro pode ter funcionado como um fator limitante da avaliação pelo teste CD, fazendo com que se obtivessem dados de resistência do conjunto e não apenas do sítio de interesse.

Dessa maneira, baseando-se nos resultados obtidos, pode-se inferir que o teste de *push out* continua sendo o mais

recomendado para avaliar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina radicular, pois é mais sensível para detectar as alterações na interface adesiva quando diferentes irrigantes finais, ultrassom e PDT são utilizados.

Apesar deste experimento ter sido desenvolvido procurando reproduzir ao máximo os procedimentos executados no ambiente clínico, pode-se citar como limitação o fato de que se trata de uma pesquisa laboratorial utilizando-se de dentes bovinos, que possuem composição e morfologia semelhantes aos dentes humanos. Assim, se faz necessária a realização de testes clínicos avaliando as variáveis em estudo a fim de se comprovar os resultados obtidos.

## **Referências**

- [1] Z. Salameh, H.F. Ounsi, M.N. Aboushelib, W. Sadig, M. Ferrari, Fracture resistance and failure patterns endodontically treated mandibular molars with and without fiber-post in combination with a zirconiaceramic crown, *J Dent.* 36(2008)513-519. doi: 10.1016/j.jdent.2008.03.014.
- [2] N. Scotti, E. Bergantin, R. Tempesta, G. Turco, L. Breschi, E. Farina, D. Pasqualini, E. Berutti, Influence of

dentin pretreatment with synthetic hydroxyapatite application on the bond strength of fiber posts luted with 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphatecontaining luting systems, *Eur J Oral Sci.* 124(2016)504-509. doi: 10.1111/eos.12289.

[3] L.V.J. Lassila, J. Tanner, A.M. Le-Bell, K. Narva, P.K. Vallittu, Flexural properties of fiber reinforced root canal posts, *Dent Mater.* 20(2004)29-36. doi: 10.1016/s0109-5641(03)00065-4.

[4] C.S. Coelho, J.C. Biffi, G.R. Silva, A. Abrahão, R.E. Campos, C.J. Soares, Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts, *Dent Mater.* 28(2009)671-678. doi: 10.4012/dmj.28.671.

[5] R.R. Barcellos, D. Pereira, D. Correia, A.P. Farina, C.C.R. Ferraz, D. Cecchin, Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with intra-radicular post: The effects of post system and dentine thickness, *J Biomech.* 46(2013)2572-2577. doi: 10.1016/j.jbiomech.2013.08.016.

[6] S. Kakehashi, H.R. Stanley, R.J. Fitzgerald, The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats, *Oral Surg Oral Med Oral*

Pathol. 20(1965)340-349. doi: 10.1016/0030-4220(65)90166-0.

[7] D. Cecchin, A.P. Farina, C. Vidal, A.K. Bedran-Russo, A novel enamel and dentin etching protocol using  $\alpha$ -hydroxy glycolic acid: Surface property, etching pattern, and bond strength studies, *Oper Dent.* 43(2018)101-110. doi: 10.2341/16-136-L.

[8] R.R. De Oliveira, A.B. Novaes Jr, G.P. Garlet, The effect of a single episode of antimicrobial photodynamic therapy in the treatment of experimental periodontitis. Microbiological profile and cytokine pattern in the dog mandible, *Lasers MedSci.* 26(201)359-367. doi: 10.1007/s10103-010-0864-z.

[9] A.E.H. Machado, Terapia fotodinâmica: princípios, potencial de aplicação e perspectivas, *Quim Nova.* 23(2000)237-243.

[10] A.T.P.R. Ramos, G.L. Belizário, A.C. Venção, K.C.F. Jordão, A.N.S. Rastelli, M.F. Andrade, M.C. Kuga, Effects of photodynamic therapy on the adhesive interface of fiber posts cementation protocols, *J Endod.* 44(2018)173-178. doi: 10.1016/j.joen.2017.08.035.

- [11] L.W.M. Van Der Sluis, M. Versluis, M.K. Wu, P.R. Wesselink, Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature, *J Endod.* 40(2007)415-426. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01243.x.
- [12] S.H. Huang, L.S. Linb, A.S.L. Fokb, C.P. Lina, Diametral compression test with composite disk for dentin bond strength measurement – Finite element analysis, *Dent Mater.* 28(2012)1098-1104. doi: 10.1016/j.dental.2012.07.004.
- [13] L. Zhu, Y. Li, Y.C. Chen, C.A. Carrera, W. Chong, A. Fok, Comparison between two postdentin bond strength measurement methods, *Sci Rep.* 8(2018)1-8. doi: 10.1038/s41598-018-20891-3.
- [14] C.A. Carrera, Y.C. Chena, Y. Lia, J. Rudneyb, C. Aparicioa, A. Fok, Dentin-composite bond strength measurement using the Brazilian disk test, *J Dent.* 52(2016)37-44. doi: 10.1016/j.jdent.2016.07.002.
- [15] K. Li, J. Guo, Y. Li, Y.C. Heo, J. Chen, H. Xin, A. Fok, Accelerated fatigue testing of dentin-composite bond with continuously increasing load, *Dent Mater.* 33(2017)681-689. doi: 10.1016/j.dental.2017.03.016.

- [16] S. Grandini, C. Goracci F. Monticelli, A. Borrachini, M. Ferrari, SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts, *J Adhes Dent.* 7(2003)235-240.
- [17] N. Velmurugan, A. Parameswaran, Custommade resin post and core, *Oper Dent.* 29(2004)112-114. doi: 10.4103/JCD.JCD\_52\_19.
- [18] L.A. Faria-e-Silva, S. Menezes, F.P. Silva, G.R. Reis, M.M. Moraes, Intra-radicular dentin treatments and retention of fiber posts with self-adhesive resin cements, *Braz Oral Res.* 27(2009)14-19. doi: 10.1590/s1806-83242013000100003.
- [19] G.V. Macedo, M. Yamauchi, A.K. Bedran-Russo, Effects of chemical cross-linkers on cariesaffected dentin bondin, *J Dent Res.* 88(2020)1096-1100. doi: 10.1177/0022034509351001.
- [20] A.P. Farina, H. Chiela, B. Carlini Jr, M.F. Mesquita, D.C. Miyagaki, C.C. Randi Ferraz, C.M. Vidal, D. Cecchin, Influence of cement type and relining procedure on push-out bond strength of fiber posts after cyclic loading, *J Prosthodont.*10(2015)1-7. doi: 10.1111/jopr.12271.
- [21] J.R. Pereira, A. Lins do Valle, J.S. Ghizoni, F.C. Lorenzoni, M.B. Ramos, M.V. dos Reis Só, Push-out bond

strengths of different dental cements used to cement glass fiber posts, *J Prosthet Dent.* 110(2013)134-140. doi: 10.1016/S0022-3913(13)60353-4.

[22] S. Saker, M. Özcan, Retentive strength of fiber-reinforced composite posts with composite resin cores: Effect of remaining coronal structure and root canal dentin conditioning protocols, *J Prosthet Dent.* 114(2015)856-861. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.06.015.

[23] C.L. Pinto, C.L.B. Bhering, G.R. de Oliveira, A. Maroli, V.F. Reginato, R.A. Caldas, A. Bacchi, The influence of post system design and material on the biomechanical behavior of teeth with little remaining coronal structure, *J Prosthodont.* 28(2019)e350-e356. doi: 10.1111/jopr.12804.

[24] D. Cecchin, I.L. Bringhetti, J.B. Bernardi, L.O. Leal, M.A. Souza, A.K. Bedran-Russo, A.P. Farina, Alpha-hydroxy glycolic acid for root dentin etching: Morphological analysis and push out bond strength, *Int J Adhes Adhes.* 90(2019)138-143.

[25] D.P.D.C. Barcellos, A.P. Farina, R. Barcellos, M.A. Souza, M. Borba, A.K. Bedran-Russo, Y. Dal Bello, C.M.P. Vidal, D. Cecchin, Effect of a new irrigant solution containing glycolic acid on smear layer removal and

chemical/ mechanical properties of dentin, *Sci Rep.* 10(2020):7313. doi: 10.1038/s41598-020-64450-1.

[26] Y. Dal Bello, A.P. Farina, M.A. Souza, D. Cecchin, Glycolic acid: Characterization of a new final irrigant and effects on flexural strength and structural integrity of dentin, *Mater Sci Eng, C.* 106(2020):110283. doi: 10.1016/j.msec.2019.110283.

[27] C.M.P. Vidal, C. Laroy, D.C. Toledo, L.M. Almeida, F. Qian, L.A. Hilbert, A.K. Bedran-Russo, Hydroxy acids for adhesion to enamel and dentin: Long-term bonding performance and effect on dentin biostability, *J Dent.* 107(2021)103613. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103613.

[28] H. Yavari, N. Ghasemi, B. Divband, Y. Rezaei, G. Jabbari, S. Payahoo, The effect of photodynamic therapy and polymer solution containing nano-particles of Ag/ZnO on push-out bond strength of the sealers AH-Plus and MTA Fillapex, *J Clin Exp Dent.* 9,(2017)1109-1114. doi: 10.4317/jced.54069.

[29] F. Vohra, I.A. Bukhari, S.A. Sheikh, M. Naseem, M. Hussain, Photodynamic therapy and activations of irrigation (using different laser prototypes) on push out bond strength

of fiber posts, Photodiagnosis Photodyn Ther. 19(2020):101716. doi: 10.1016/j.pdpdt.2020.101716.

[30] Z. Al Jaedi, Influence of resin cements and root canal disinfection techniques on the adhesive bond strength of fibre reinforced composite post to radicular dentin, Photodiagnosis Photodyn Ther. 33(2020)102-108. doi: 10.1016/j.pdpdt.2020.102108.

[31] M. Torabinejad, R. Handysides, A.A. Khademi, L.K. Bakland, Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Rad and Endod. 94(2002)658-666. doi: 10.1067/moe.2002.128962.

[32] A. Shahravan, A.A. Haghdoost, A. Adl, H. Rahimi, F. Shadifar, Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. J Endod. 33(2007)96-105. doi: 10.1016/j.joen.2006.10.007.

[33] J.R.P. Barreto, L. De Moura Martins, F.M.S. Chuí, D.G. Pontes, E.C. Sponchiado Jr, L.M. Silva, The influence of final endodontic irrigation techniques and irrigants on the push-out resistance of glass fiber posts, Gen Dent. 70(2022)46-50.

- [34] S. Çalt, A. Serper, Time-dependent effects of EDTA on dentin structures, *J Endod.* 28(2002)9. doi: 10.1097/00004770-200201000-00004.
- [35] M. Prado, H. Gusman, B.P. Gomes, R.A. Simão, Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid, *J Endod.* 37(2011):255-258. doi: 10.1016/j.joen.2010.11.011.
- [36] M.A. Souza, M.G.P. Rauber, N. Zucchi, L.V. Bonacina, R. Ricci, C.T. Dias, K.F. Bischoff, J.L. Engelmann, H.S. Palhano, Influence of final irrigation protocols and endodontic sealer on bond strength of root filling material with root dentin previously treated with photodynamic therapy, *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 26(2019)137-141. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.03.013.

## Tabelas

Tabela 1

| Substânci<br>a    | Grupo | Ultra-<br>Som | PDT | Mediana<br>(MPa) | Q1<br>(MPa) | Q3<br>(MPa) |
|-------------------|-------|---------------|-----|------------------|-------------|-------------|
| Água<br>destilada | G1    | Não           | Não | 4,74 d           | 4,26        | 5,25        |
|                   | G2    | Sim           | Não | 5,27 c           | 4,62        | 6,26        |
|                   | G7    | Não           | Sim | 4,96 c           | 4,41        | 5,86        |
|                   | G8    | Sim           | Sim | 5,18 c           | 4,74        | 5,46        |
| EDTA              | G3    | Não           | Não | 4,21 e           | 3,35        | 5,36        |
|                   | G4    | Sim           | Não | 4,96 c           | 4,50        | 5,71        |
|                   | G9    | Não           | Sim | 6,10 b           | 5,11        | 7,52        |
|                   | G10   | Sim           | Sim | 5,73 c           | 4,28        | 6,52        |
|                   | G5    | Não           | Não | 4,07 f           | 3,41        | 4,64        |
|                   | G6    | Sim           | Não | 6,68 a           | 5,66        | 7,36        |

|    |     |     |     |        |      |      |
|----|-----|-----|-----|--------|------|------|
| AG | G11 | Não | Sim | 4,97 c | 4,68 | 5,14 |
|    | G12 | Sim | Sim | 6,86 a | 5,76 | 8,32 |

Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais.

Tabela 2

| Substância        | Grupo | Ultra-Som | PDT | Escore – Modo de Falha |     |     |     |     |
|-------------------|-------|-----------|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                   |       |           |     | 1                      | 2   | 3   | 4   | 5   |
| Água<br>destilada | G1    | Não       | Não | 5%                     | 50% | 20% | 0%  | 25% |
|                   | G2    | Sim       | Não | 10%                    | 55% | 20% | 5%  | 10% |
|                   | G7    | Não       | Sim | 5%                     | 55% | 35% | 0%  | 5%  |
|                   | G8    | Sim       | Sim | 10%                    | 45% | 25% | 0%  | 20% |
| EDTA              | G3    | Não       | Não | 30%                    | 25% | 20% | 10% | 15% |
|                   | G4    | Sim       | Não | 0%                     | 65% | 30% | 5%  | 0%  |
|                   | G9    | Não       | Sim | 5%                     | 50% | 40% | 0%  | 5%  |
|                   | G10   | Sim       | Sim | 20%                    | 35% | 20% | 0%  | 25% |
|                   | G5    | Não       | Não | 30%                    | 30% | 30% | 5%  | 5%  |
|                   | G6    | Sim       | Não | 45%                    | 15% | 10% | 0%  | 30% |

|    |     |     |     |     |     |     |    |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| AG | G11 | Não | Sim | 30% | 20% | 30% | 0% | 20% |
|    | G12 | Sim | Sim | 0%  | 45% | 40% | 0% | 15% |

---

Frequência (%) dos modos de falha dos corpos-de-prova submetidos ao teste de resistência de união por *push out* (MPa) para os grupos experimentais.

Tabela 3

| <b>Substância</b> | <b>Grupo</b> | <b>Ultrassom</b> | <b>PDT</b> | <b>Mediana</b> | <b>Q1</b>    | <b>Q3</b>    |
|-------------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|--------------|
|                   |              | <b>m</b>         |            | <b>(MPa)</b>   | <b>(MPa)</b> | <b>(MPa)</b> |
| Água<br>destilada | G1           | Não              | Não        | 24,25 g        | 21,12        | 31,77        |
|                   | G2           | Sim              | Não        | 26,22 g        | 23,26        | 30,14        |
|                   | G7           | Não              | Sim        | 32,41 e        | 28,78        | 36,65        |
|                   | G8           | Sim              | Sim        | 35,04 d        | 30,16        | 37,47        |
| EDTA              | G3           | Não              | Não        | 38,84 b        | 35,39        | 40,60        |
|                   | G4           | Sim              | Não        | 37,45 c        | 30,61        | 41,95        |
|                   | G9           | Não              | Sim        | 41,90 a        | 39,03        | 44,48        |
|                   | G10          | Sim              | Sim        | 38,18 b        | 35,14        | 40,96        |
| AG                | G5           | Não              | Não        | 30,90 f        | 25,83        | 33,26        |
|                   | G6           | Sim              | Não        | 31,36 e        | 28,69        | 35,15        |
|                   | G11          | Não              | Sim        | 38,39 b        | 31,91        | 47,64        |
|                   | G12          | Sim              | Sim        | 33,53 e        | 27,98        | 37,50        |

Mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3) dos valores de máxima tensão no teste de resistência à tração por compressão diametral (MPa) para os grupos experimentais.

## Legendas das figuras

**Figura 1.** Amostras padronizadas em 2mm de diâmetro interno, 5mm de diâmetro externo e 2mm de espessura.

**Figura 2.** Desenho esquemático da cimentação dos pinos de fibra de vidro. Corte horizonte para preparo das amostras.

**Figura 3.** Esquema ilustrativo da realização do teste de push out.

**Figura 4.** Área do cilindro.

**Figura 5.** A) Esquema ilustrativo da realização do teste de compressão diametral. B) Esquema representativo da análise por FEA.

**Figura 6.** Gráfico de dispersão com as medianas, resistência de união pelo teste de *push out* e máxima tensão de resistência à tração por compressão diametral para cada grupo experimental.

**Figura 7. A)** Tensão Von Mises durante o teste de compressão diametral. **B)** Distribuição de tensão ao longo da amostra.