

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Alexia Trento

**INFLUÊNCIA DA ATIVAÇÃO ULTRASSÔNICA DO
FOTOSSENSITIZADOR DA TERAPIA FOTODINÂMICA
NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE UM CIMENTO
BIOCERÂMICO E DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO
CIMENTADOS COM CIMENTO AUTO-ADESIVO**

Passo Fundo

2025

Alexia Trento

**INFLUÊNCIA DA ATIVAÇÃO ULTRASSÔNICA DO
FOTOSENSITIZADOR DA TERAPIA FOTODINÂMICA
NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE UM CIMENTO
BIOCERÂMICO E DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO
CIMENTADOS COM CIMENTO AUTO-ADESIVO**

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. **Matheus Albino Souza**.

Passo Fundo

2025

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
Biblioteca Central de Estudantes da UPF para manter a correta
numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Alexia Trento.

Nascida em 14 de janeiro de 1999, na cidade de Marau/RS, a autora deste trabalho é cirurgiã-dentista formada pela Universidade de Passo Fundo (UPF) em 27 de julho de 2022, e realizou seu trabalho de conclusão de curso intitulado “Estimativa de idade baseada em terceiros molares–revisão sistemática de literatura”, sob orientação do Prof. Dr. João Paulo De Carli. Dentre todas as atividades realizadas no período de graduação, atuou como bolsista no Programa de Atenção à saúde do Idoso, do governo federal em parceria com a UPF, desenvolvendo trabalhos multiprofissionais em um lar de atenção e cuidado a idosos da cidade de Passo Fundo. Também fez parte do grupo de pesquisa da Prof. Dr.^a Daniela Jorge Corralo, realizando trabalhos na área da biossegurança. Está em processo de formação na especialização em endodontia da UPF, a ser concluído em março do ano de 2026. Atualmente realiza, em consultório privado, atendimentos clínicos referentes à terapia endodôntica.

AGRADECIMENTOS

Não seria possível iniciar os agradecimentos de tal trabalho sem citar os pilares fundamentais da minha vida, meus pais, Fernando Angelo Trento e Vanda Correa Trento (*in memoriam*), sem os quais de nada seria capaz. Seja pelo apoio, abraço, cuidado e carinho, seja pela motivação e abdicação de sonhos para que hoje, as minhas conquistas fossem possíveis e reais. O agradecimento vai muito além de palavras, mas se baseia no amor infinito que nos mantém unidos, neste e em outros planos, por mais difícil que seja esse entendimento, sei e sinto que o amor é capaz de vencer qualquer barreira.

O agradecimento se estende a cada familiar, avós, dinda, tias, tios e primos, que foram minha fortaleza desde que nasci, me amparando nos momentos de dificuldade e comemorando comigo, cada pequena vitória, tornando o caminho prazeroso e mais fácil de ser trilhado, a vocês fica todo o meu coração, afinal, só sabe pra onde vai, quem respeita (e reconhece) de onde veio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Albino Souza, pela confiança depositada e apoio prestado desde a graduação. És um

exemplo de ser humano e profissional, inspiração que guia os passos acadêmicos e que com certeza, servem de legado para cada endodontista formado nesta universidade. Muitas foram as dificuldades e dúvidas que surgiram ao longo do caminho, mas com o empenho e dedicação, conseguiram ser superadas. Me inspiro e busco neste trabalho, poder retribuir, em pequenas partes, tanto conhecimento repassado.

Aos amigos e colegas que compartilharam a jornada, fica o agradecimento pelo entendimento e apoio nos momentos difíceis, e comemoração nos momentos de conquistas.

À Universidade de Passo Fundo, em especial à Faculdade de Odontologia, por ter sido a minha segunda (por muitas vezes primeira) casa nos últimos 8 anos. Foi uma jornada longa e árdua, mas o conhecimento adquirido e as experiências vividas hoje fazem parte de quem sou. Aos professores, funcionários, colegas e amigos que fizeram parte desta trajetória, muito obrigada.

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

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
3. PROPOSIÇÃO	55
4. MATERIAIS E MÉTODOS	56
5. RESULTADOS	65
6. DISCUSSÃO	67
7. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXOS	85
ARTIGO SUBMETIDO.	90

LISTA DE TABELAS

Table 1. Mean (SD) of bond strength of filling material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.....65

Table 2. Mean (SD) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.....66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Corte das coroas e vedação dos forâmens das raízes.85
- Figura 2.** Preparo e instrumentação dos canais radiculares.....85
- Figura 3.** Aplicação do fotossensibilizador da PDT, ativação da PDT e ativação ultrassônica.....86
- Figura 4.** Obturação dos canais radiculares.....87
- Figura 5.** Cimentação dos pinos de fibra de vidro.....88
- Figura 6.** Corte dos discos em cortadeira metalográfica e teste de push out.....89
- Figura 7.** Análise microscópica dos padrões de falha.....89

RESUMO¹

Este estudo teve como objetivo avaliar, in vitro, a influência da ativação ultrassônica (US) do fotossensibilizador da terapia fotodinâmica (PDT) na resistência de união do material obturador/restaurador à dentina radicular. Sessenta dentes uniradiculares humanos extraídos foram utilizados para o presente estudo. Após a secção coronária, 30 raízes foram utilizadas para a avaliação da resistência de união do material obturador e 30 raízes utilizadas para a avaliação da resistência de união do material restaurador. Em cada avaliação, após o preparo químico-mecânico completo, as raízes foram divididas aleatoriamente em 3 grupos (n=10), de acordo com o protocolo de PDT e US, como segue: G1 (controle negativo) – água destilada; G2 – PDT convencional; G3 – PDT+US. Após os referidos protocolos, as raízes foram preenchidas com guta-percha e cimento biocerâmico Bio-C Sealer na primeira avaliação, e com pinos de fibra de vidro no 1 cimentados com cimento auto-adesivo Rely-X U200 na segunda avaliação. Para a avaliação da resistência de união, em ambas

¹ Alexia Trento

avaliações, as raízes foram seccionadas para obtenção de discos de dentina de 1 mm de espessura contendo o material obturador/restaurador e realizado o teste de *push out*. Os padrões de falha foram observados em microscópio óptico. A análise estatística específica foi realizada em ambas avaliações ($\alpha = 5\%$). De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar, em ambas as avaliações, que a resistência de união foi significativamente inferior nos grupos 2 (PDT) e 3 (PDT+US) quando comparados ao grupo controle ($p < 0,05$), sem diferença estatisticamente significativa entre si ($p > 0,05$). Em relação ao percentual dos padrões de falha, não foi revelada diferença estatisticamente significativa entre os grupos testados ($p > 0,05$), havendo predomínio de falha coesiva nos mesmos. Pode-se concluir que a US do fotossensibilizador da PDT não influenciou na resistência de união da guta-percha+cimento biocerâmico e dos pinos de fibra de vidro +cimento auto-adesivo à dentina radicular, quando comparada à PDT convencional sem a US do fotossensibilizador.

Palavras-chave: ativação ultrassônica, cimento auto-adesivo, cimento biocerâmico, pino de fibra de vidro, terapia fotodinâmica, resistência de união.

ABSTRACT²

This study aimed to evaluate, *in vitro*, the influence of ultrasonic activation (US) of the photosensitizer in photodynamic therapy (PDT) on the bond strength of the root dentin to the obturating/restorative material. Sixty extracted human single-rooted teeth were used in this study. After coronal sectioning, 30 roots were used to assess the bond strength of the obturating material, and 30 roots were used to evaluate the bond strength of the restorative material. In each evaluation, after complete chemomechanical preparation, the roots were randomly divided into three groups (n=10) according to the PDT and US protocol as follows: G1 (negative control) – distilled water; G2 – conventional PDT; G3 – PDT+US. After the respective protocols, the roots were filled with gutta-percha and the bioceramic sealer Bio-C Sealer in the first evaluation and with fiber posts cemented using the self-adhesive cement Rely-X U200 in the second evaluation. To assess bond strength in both evaluations, the roots were sectioned to obtain 1 mm thick dentin discs containing the

² Influence of ultrasonic activation of the photosensitizer in photodynamic therapy on the bond strength of a bioceramic sealer and fiber posts cemented with self-adhesive cement

obturator/restorative material, and the push-out test was performed. Failure patterns were observed under an optical microscope. Specific statistical analysis was conducted in both evaluations ($\alpha = 5\%$). According to the results, in both evaluations, bond strength was significantly lower in groups 2 (PDT) and 3 (PDT+US) compared to the control group ($p < 0.05$), with no statistically significant difference between them ($p > 0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was found among the tested groups ($p > 0.05$), with a predominance of cohesive failure in all groups. It can be concluded that US of the PDT photosensitizer did not influence the bond strength of gutta-percha + bioceramic sealer and fiber posts + self-adhesive cement to root dentin when compared to conventional PDT without US of the photosensitizer.

Keywords: ultrasonic activation, self-adhesive cement, bioceramic sealer, fiber post, photodynamic therapy, bond strength.

1. INTRODUÇÃO

A neutralização dos microorganismos no interior do sistema de canais radiculares é o principal objetivo do tratamento endodôntico (Du et al., 2012). No entanto, o preparo químico-mecânico convencional, por si só, é insuficiente para realização dessa etapa (Chinoforush et al., 2016). Neste cenário, a terapia fotodinâmica (PDT) surge como uma possibilidade adjuvante, no intuito de otimizar o processo de descontaminação. Esta modalidade terapêutica corresponde a uma reação oxidativa produzida pela interação entre um agente fotossensibilizante e uma fonte de luz de baixa intensidade (De Araújo et al., 2022).

No entanto, a ativação do laser de baixa potência sobre o fotossensibilizador promove a formação de uma *smear layer* química, a qual pode comprometer a resistência de união do material obturador e restaurador à dentina radicular (Souza et al., 2019a; Souza et al., 2019b). Por conta disso, a remoção adequada desta *smear layer* química é de fundamental importância, para a finalização do tratamento endodôntico.

Outro recurso comumente utilizado na terapia endodôntica é a US, induzindo o princípio da turbulência hidrodinâmica no interior do canal radicular. Esses elementos aumentam a temperatura e a pressão hidrostática, produzindo ondas que removem a camada de smear layer por irrigação contínua com o aparelho ultrassônico (Souza et al., 2017). A US do fotossensibilizador aumenta o potencial de descontaminação da PDT no interior de canais radiculares infectados com *Enterococcus faecalis*. No entanto, por se tratar de uma solução com alta viscosidade, a US deste fotossensibilizador pode aumentar a impregnação na dentina radicular, comprometendo ainda mais a adesão do material obturador e restaurador (Ghinzelli et al., 2014).

Mais recentemente, o uso de cimentos endodônticos biocerâmicos em Endodontia tem ganhado espaço, com a intenção de melhorar a qualidade da obturação e selamento tridimensional do canal radicular. Estes cimentos apresentam bioatividade, induzindo ligações químicas estáveis com a dentina por deposição de tecido mineral no formato de hidroxiapatita (Carvalho et al., 2017).

Por outro lado, frente a necessidade de restauração do dente tratado endodonticamente, tem sido preconizada a cimentação de pinos de fibra de vidro com cimento resinoso auto-adesivo, visando a reabilitação da estética e função mastigatória do elemento dentário. Os cimentos resinosos autoadesivos podem aderir às

estruturas dentais sem condicionamento prévio ou aplicação de adesivo, envolvendo apenas uma etapa clínica, sendo de fácil manuseio e aplicação (De Souza Ferreira et al., 2012). Os monômeros ácidos do cimento resinoso auto-adesivo desmineralizam e infiltram o substrato dentário, proporcionando retenção micromecânica. Simultaneamente, a reação entre os monômeros de ácido fosfórico do cimento e a hidroxiapatita do substrato dentário pode oferecer retenção química (Pisani-Proença et al., 2011).

No entanto, não existem estudos na literatura que mostrem o real impacto da US do fotossensibilizador da PDT na resistência de união de cimentos biocerâmicos e pinos de fibra de vidro cimentados com cimentos resinosos auto-adesivos, tornando justificável a realização do presente estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Terapia Fotodinâmica em Endodontia

A PDT representa uma abordagem promissora para a descontaminação endodôntica, oferecendo uma alternativa eficaz e segura para a erradicação de microrganismos resistentes e biofilmes complexos, especialmente quando utilizada em conjunto com protocolos auxiliares, como US e otimização dos irrigantes (Miranda; Colombo, 2018; Niavarzi et al., 2019). Isso porque o mecanismo de ação da PDT difere das abordagens antimicrobianas tradicionais, pois não depende exclusivamente da ação química de irrigantes, já que o processo fotoquímico afeta seletivamente as células microbianas (Chiniforush et al., 2016). Essa característica torna a PDT um método promissor para casos de infecções persistentes, além de contribuir para a eliminação de biofilmes microbianos, que frequentemente dificultam o sucesso do tratamento endodôntico (Ghinzelli et al., 2014; Souza et al., 2019).

Garcez et al., em 2011, realizaram um estudo a fim de comparar a eficácia do tratamento endodôntico padrão, da PDT e do tratamento combinado para eliminar biofilme bacteriano dos

canais radiculares. Para realização do estudo, foram necessários dez dentes humanos uniradiculares. Suas respectivas coroas foram extraídas e as raízes encurtadas para um comprimento de aproximadamente 13 mm e instrumentados até atingir um diâmetro apical de #30, as superfícies externas da raiz foram recobertas com uma camada de resina, para evitar contaminação do meio externo e foram esterilizadas em autoclave por 15 min a 121°C. Com os canais esterilizados foi inserido uma solução composta por bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Proteus mirabilis*, as quais foram projetadas para serem bioluminescentes e após 72h foi realizado três tipos diferentes de tratamentos nesses canais, o primeiro foi o tratamento endodôntico convencional com instrumentação, utilizando limas #30, #35 e #40 e irrigados com hipoclorito de sódio a 2,5%, o segundo tratamento foi a aplicação de laser que emite uma luz de 660 nm dentro dos canais radiculares e o terceiro tratamento foi a combinação da PDT com o tratamento convencional e após todos eles foi realizado uma captura de imagem de bioluminescência, para controle do caso. Os resultados atingidos mostraram que a PDT reduziu sozinha 90% de biofilme, o tratamento convencional sozinho reduziu em 95% e a combinação dos dois atingiu um resultado de >98%. Ou seja, é possível concluir que a PDT é uma técnica que deve ser empregada para aprimorar o tratamento endodôntico convencional.

Ghinzelli et al. (2014) realizaram um estudo in vitro com o objetivo de avaliar a influência da US na PDT sobre o sistema de canais radiculares infectados com *E. faecalis*. Para isso foi necessários 50 dentes humanos unirradiculares, esses foram divididos em cinco grupos iguais (G1: nenhum procedimento foi realizado, G2: azul de metileno 0,01%, G3: US com azul de metileno 0,01%, G4: PDT sem US e G5: PDT com a US). todos os dentes foram ampliados até uma lima de 60, depois autoclavados e inoculados com *E. faecalis* e assim incubados por mais 30 dias, depois os seus respectivos tratamentos foram realizados e os testes microbiológicos e de microscopia eletrônica de varredura avaliaram e ilustrados a eficácia dos tratamentos. O teste microbiológico demonstrou que o G5 (PDT com US) apresentou a menor média de contaminação. Assim foi possível concluir que o uso da US na PDT melhorou seu potencial de descontaminação, resultando em maior eliminação de *E. faecalis* do espaço do canal radicular.

Tennert et al., em 2015, avaliaram o efeito da PDT em canais radiculares infectados artificialmente com biofilmes de *E. faecalis* usando fotossensibilizadores modificados e US passiva. Foram instrumentados, com limas ProTaper, 270 dentes humanos extraídos com um canal radicular, estes foram autoclavados e infectados com *E. faecalis* por 72 h, após isso, dividiu-se em diferentes grupo: irrigação com hipoclorito de sódio 3% (NaOCl);

ácido etilenodiaminotetracético 20% (EDTA); ou ácido cítrico a 20%; PDT sem irrigação; PDT acompanhada de irrigação com NaOCl; EDTA ou ácido cítrico; PDT usando um fotossensibilizador à base de EDTA ou um fotossensibilizador à base de ácido cítrico e PDT com US do fotossensibilizador. Um azul de toluidina de 15 mg/ml serviu como fotossensibilizador, ativado por uma fonte de luz LED de 100 mW. Diante disso, lascas de dentina foram coletadas para avaliar a contaminação remanescente após o tratamento. A combinação de enxágues com EDTA ou ácido cítrico com PDT aumentou o efeito antimicrobiano em comparação com os enxágues isolados. Mais de 99% de *E. faecalis* foram mortos usando um fotossensibilizador modificado e PDT ativado por ultrassom. Em comparação com a PDT convencional, o uso de PDT com um fotossensibilizador à base de EDTA ou ácido cítrico ou a ativação do fotossensibilizador com ultrassom resultou em uma redução significativamente maior nas contagens de *E. faecalis*.

Borsatto et al., em 2016, avaliaram a resposta dos tecidos apicais e periapicais de dentes de cães com lesão periapical após uma sessão de tratamento de canal radicular com e sem PDT antimicrobiana em comparação com o uso de curativo intracanal. Foram utilizados 60 elementos dentários com lesões periapicais induzidas. As amostras foram instrumentadas e divididas em três grupos: G1 (grupo 1) foi realizado tratamento endodôntico em duas

sessões, os canais radiculares foram obturados com uma pasta à base de hidróxido de cálcio; G2 – os canais foram submetidos a PDT e ao tratamento endodôntico em uma sessão; G3- tratamento endodôntico em sessão única, na qual os canais radiculares foram obturados imediatamente após o preparo biomecânico. De acordo com os resultados, o G1 apresentou um reparo progressivo, com presença de fibras, células e vasos sanguíneos. O G2 havia ligamentos periodontais com presença de fibras colágenas e células inflamatórias residuais, já o grupo 3, um processo inflamatório com extensas áreas edematosas e dissociação fibrilar. Com relação ao tamanho da lesão periapical, o G1 apresentou lesões significativamente menores em relação ao grupo 2 e 3. O tratamento de canal em duas sessões utilizando pasta a base de hidróxido de cálcio, nesse estudo foi associada a lesão periapical significativamente menor.

Asnaashari et al., em 2017, avaliaram o efeito antimicrobiano na desinfecção fotoativada (PAD) ao usar o azul de toluidina como fotossensibilizador e uma lâmpada LED após o tratamento convencional e compará-lo com a terapia com hidróxido de cálcio in vivo. Este ensaio clínico constituiu-se de 20 pessoas com molares que necessitavam de tratamentos endodônticos. Após o tratamento convencional, as primeiras amostras microbiológicas foram obtidas e transferidas para um laboratório de microbiologia. Os espécimes do Grupo 1 (n=10)

foram submetidos a PAD com solução de fotossensibilizador (0,1 mg/ml TB) e irradiação com lâmpada de luz LED (635nm, 200mW/cm²) por 60s. A pasta cremosa de Ca(OH)₂ foi utilizada no grupo 2 (n=10) por duas semanas. Uma segunda amostra foi então obtida. As amostras foram cultivadas e, em seguida, as colônias bacterianas foram contadas. Os dados incluíram o número de unidades formadoras de colônias (CFUs) antes e depois dos tratamentos, analisados pelo teste t e análise de covariância. Os números médios para log₁₀ CFUs/mL antes da terapia com hidróxido de cálcio e DAP com irradiação LED foram 10,1968 e 11,3773. Após o tratamento, os números médios foram 9,4202 e 8,3772, respectivamente. A diferença nos resultados após o tratamento entre os grupos foi significativa (p=0,01<0,05) e indica que o PAD foi mais eficaz. Em comparação com a terapia com hidróxido de cálcio, o PAD leva a uma maior redução no número de *E. faecalis* nos canais radiculares infectados.

Mohammad et al., em 2017 avaliou a eficácia da PDT na eliminação de micro-organismos presentes no canal radicular, quando ativada com ultrassom e luz. Quarenta e oito pré-molares inferiores uniradiculares, com evidência radiográfica de lesão periapical foram selecionados. Esses dentes foram divididos aleatoriamente em quatro grupos (12 dentes por grupo), no grupo 1 foi realizado apenas o debridamento químico-mecânico (DMC), no grupo 2 CDM com irrigação ultrassônica passiva, no grupo 3

foi realizado CDM com apenas PDT e no grupo 4 CDM com PDT ativado por ultrassom. Além disso, é importante ressaltar que todos os canais foram instrumentados, irrigados e feitos protocolos antimicrobianos. No grupo 3 e 4 o corante foi deixado dentro do canal por 60s, assim o canal foi irradiado por 1min e depois lavado com solução salina para remover o corante, a única diferença foi que no grupo 4 o corante PS foi ativado com lima U por 1 min. Como resultados observados o grupo 4 foi o que apresentou melhor eliminação de bactérias, quando comparado aos outros grupos, porém a redução bacteriana entre os grupos não foi estatisticamente significativa, todos os protocolos foram eficazes na eliminação de bactérias. Porém, foi possível concluir que o uso de ultrassom para ativar o corante PS permitiu melhor penetração do corante nos túbulos dentinários, nas complexidades anatômicas dos canais radiculares e no biofilme, resultando em uma redução bacteriana de 99,51%.

Da Silva et al., em 2018, avaliaram os efeitos antimicrobianos do tratamento endodôntico convencional seguido da PDT (aPDT) por ensaios de reação em cadeia da polimerase (PCR) após amplificação prévia de todo o genoma. Foram analisados 10 dentes uniradiculares (grupo controle (GC) = 4 e grupo teste (TG) = 6) com infecções endodônticas primárias, de ambos os sexos, entre 17 e 65 anos de idade. Foram feitas instrumentações mecânicas (CMI), após aPDT (para o TG), e após

a remoção das restaurações provisórias (segunda sessão). Foi aplicado 100 mW por 40s com um laser óptico acoplado a fibra, outra irradiação de 3 J por 30s realizada na gengiva próxima ao forame apical. A PCR foi realizada depois da amplificação prévia de todo o genoma, para *E. Faecalis*, gênero *Candida* e domínio Bacteria. Para TG, um dente positivo para *Candida spp.* antes do CMI apresentou resultados negativos em amostras subsequentes. Além disso, a espécie *E. faecalis* estava presente em quatro amostras antes do CMI, dois após o CMI, em um após a PDT e não foi detectado na segunda sessão. A PDT pode ser uma terapia adjuvante eficaz, resultando em uma redução ($P = 0,0286$) da incidência de *E. faecalis* antes da obturação do canal radicular.

Miranda et al., em 2018, realizaram um estudo, no qual foi avaliado a eficácia da PDT no sucesso clínico de cicatrização periapical e na eliminação da microbiota de infecções endodônticas primárias. Para a realização do presente estudo foi necessário trinta e dois pacientes apresentando periodontite apical em um molar inferior, os quais foram divididos aleatoriamente em dois grupos. Um grupo controle no qual foi realizado apenas o desbridamento químico mecânico (CMD) em 16 dentes e o segundo grupo que foi realizado o CDM, junto com a PDT também em 16 dentes. Todos os dentes de ambos os grupos receberam medicação intracanal com hidróxido de cálcio por 7 dias antes da obturação final, foi sendo realizado radiografias em 3 e 6 meses para acompanhar e a

cicatrização apical, a qual foi avaliada pelo índice periapical (PAI). Assim os resultados observados foram uma diminuição significativa no índice periapical em ambos os grupos ao longo do tempo e ao concluir os 6 meses, o grupo que foi realizado CMD + PDT atingiu resultados significativamente melhores em relação ao grupo controle, tanto no processo de cicatrização periapical, quanto na capacidade de eliminação da microbiota. Diante desse estudo é possível concluir que apesar de a terapia endodôntica convencional ser eficaz redução da carga microbiana, quando associada a PDT torna-se muito mais eficiente no processo de cicatrização periapical e redução de microorganismos.

Masuda et al, em 2018, avaliaram a capacidade antimicrobiana da PDT com o laser de diodo e o azul de piokitanina (PB) contra o *E. faecalis* frequentemente observado em canais radiculares infectados e confirmar a não toxicidade do PB como fotossensibilizador. Para a realização do estudo a cepa padrão de *E. faecalis* foi cultivada e encubada a 37°C por 24h, em seguida o meio cultivado juntamente com azul de piokitanina foram adicionados a um microtubo de 1,5 ml e como grupo controle em outro microtubo de 1,5 ml foi adicionado água destilada esterilizada contendo *E. faecalis*. Após os microtubos estarem preparados, um laser de diodo foi irradiado, com uma potência de 3W a uma distância de 6 mm do fundo do microtubo por 10, 20, 30, 40, 50 e 60 s, sobre os grupos controles alguns foram deixados

sem irradiação de laser e outros foram irradiados por 60s sem PB, após as irradiações foi feita as contagens bacterianas das soluções. Assim os resultados alcançados mostraram que ocorreu maior redução do número de colônias do *E. faecalis* quando irradiado com o maior tempo de laser aplicado (60s) e com PB. Diante desses resultados é possível concluir que o tratamento com laser de diodo em combinação com PB é eficaz para a eliminação de *E. faecalis* sem toxicidade para as células, podendo ser útil nos canais radiculares infectados.

Niavarzi et al., em 2019, avaliaram o efeito da US do fotossensibilizador na eficácia da aPDT contra *E. faecalis* e na profundidade de penetração do fotossensibilizador. Um biofilme maduro de *E. faecalis* foi formado nos canais radiculares de 58 incisivos inferiores de canal único, estas foram seccionadas longitudinalmente e divididas ao meio. O biofilme foi quantificado e a profundidade de penetração do fotossensibilizador foi determinada pelo ensaio de viabilidade microbiana e análise estereomicroscópica nos três grupos de estudo a seguir: G1 Hipoclorito de sódio 5,25% ativado por ultrassom por 20s; G2 aPDT usando azul de metileno (MB) mais laser de diodo de 660 nm com potência de 150 mW por 1 min e G3 MB ativado por ultrassom por 20s seguido por aPDT como no grupo 2. O teste t de amostra independente e ANOVA de uma via foram usados para comparar a profundidade de penetração do corante e carga

microbiana, respectivamente nas regiões apical e coronal entre os grupos. A profundidade de penetração do fotossensibilizador no grupo 3 foi significativamente maior do que no grupo 2 ($P < 0,05$). Todos os 3 grupos experimentais tiveram contagens de *E. faecalis* mais baixas do que o grupo de controle ($P < 0,05$). O Grupo 1 e o Grupo 3 foram significativamente melhores do que o Grupo 2 em termos de redução da contagem microbiana, mas não houve diferença significativa entre o Grupo 1 e o Grupo 3 ($P > 0,05$). A US de fotossensibilizadores em aPDT aumenta a profundidade de penetração nos túbulos dentinários e aumenta sua atividade antibacteriana.

Hendi et al., em 2021, realizaram um estudo com o objetivo de comparar os efeitos antibacterianos de um laser de diodo com comprimento de onda 940nm e nanopartículas de prata sobre o *E. faecalis*. Para isso, foi necessários noventa dentes humanos unirradiculares preparados com limas rotativas, as amostras foram irrigadas com hipoclorito de sódio e EDTA 17%, autoclavadas e contaminadas com *E. faecalis*. Após passar 21 dias as amostras foram fixadas em um microtubo e divididas em 4 grupos de 20 e um grupo controle com 10 amostras. Grupo 1: hipoclorito de sódio 5%, Grupo 2: nanopartículas de prata, Grupo 3: laser de diodo e Grupo 4: laser de diodo e nanopartículas de prata. Após a realização de todo processo de limpeza com o tratamento do seu respectivo grupo, as amostras foram analisadas. Os resultados

apresentados mostraram que houve uma diminuição significativa na contagem das colônias em todos os grupos após intervenção, sendo que o grupo que mais apresentou resultados positivos foi o grupo 1 e as nanopartículas de prata demonstraram-se mais eficientes que o laser de diodo. Assim foi possível concluir que o hipoclorito de sódio 5% e as nanopartículas de prata são substâncias antibacterianas eficazes.

2.2 Remoção de *smear layer* e do fotossensibilizador

Embora a PDT seja uma ferramenta eficaz na descontaminação microbiana, seu impacto na adesão de materiais restauradores deve ser cuidadosamente considerado, uma vez que a presença do corante fotossensibilizador poderia favorecer a formação de uma camada de *smear layer* química, exigindo estratégias complementares para otimizar a interface adesiva e garantir a longevidade dos tratamentos endodônticos.

A utilização de irrigantes finais como EDTA e soluções surfactantes tem sido recomendada para minimizar esse problema, pois esses irrigantes possuem capacidade de quelar resíduos orgânicos e inorgânicos, promovendo uma melhor limpeza da dentina antes da cimentação (Khoroushi et al., 2019). No entanto, a simples aplicação de irrigantes pode não ser suficiente para remover completamente os resíduos do corante fotossensibilizador. Nesse contexto, a US surge como um método complementar para

otimizar a remoção do corante e melhorar a resistência de união dos materiais cimentantes.

Os dispositivos ultrassônicos operam em frequências entre 25 kHz e 40 kHz, gerando vibrações intensas que podem melhorar a limpeza e desinfecção do canal radicular por meio de fenômenos como cavitação acústica e correntes acústicas, aumentando a penetração da solução irrigante nos túbulos dentinários e promovendo uma limpeza mais eficaz da superfície dentinária (Murugesan et al., 2022). Assim, os benefícios da US na terapia endodôntica incluem a melhoria na eficácia da irrigação química, aumento da remoção de detritos do sistema de canais e uma melhor penetração das soluções desinfetantes nos túbulos dentinários (Souza et al., 2019).

Carvalho et al., em 2011, realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a eficiência das soluções químicas na remoção do corante azul de metileno após a PDT. Foram necessários quarenta dentes unitários para a realização do estudo, esses foram preparados, e adicionados 0,01% de azul de metileno (MB) por 5 min e irradiados com laser de diodo por 40s. Assim os dentes foram divididos em quatro grupos de 10, em cada grupo foi utilizado um agente químico diferente para a remoção do corante, como hipoclorito de sódio 2,5%, NaOCl 2,5% + creme Endo-PTC, álcool etílico a 70% e solução salina. As fotografias foram tiradas antes de ser realizado o PDT, imediatamente foi realizado o PDT e após

a remoção do corante. Assim as alterações cromáticas foram avaliadas e chegaram ao resultado que a coloração dentária aumentou em todos os grupos quando comparados e não foi observado diferenças significativas entre os grupos, porém quando utilizado NaOCl 2,5%, associado ou não ao creme Endo-PTC se mostrou mais eficaz em evitar o manchamento dental causado pelo corante durante a PDT. Portanto os protocolos para remover corantes dos canais radiculares, devem ser aplicados logo após a PDT para minimizar o manchamento dental.

Ashrafet al., em 2014, analisaram a capacidade de dois agentes quelantes para a remoção de *smear layer* no terço apical dos canais radiculares. Para esse estudo, foram necessários cinquenta dentes retos, uniradiculares, os quais foram divididos em três grupos experimentais (n=15) e um grupo controle de cinco. Os respectivos canais foram instrumentados com limas rotativas, no grupo 1 os canais foram irradiados com laser, no grupo 2 e 3 aos canais foram irrigados com EDTA 17% e 18% de etidronato, no grupo 4 (controle) foi irrigado com água destilada e a quantidade remanescente de *smear layer* foi quantificada com microscopia eletrônica de varredura. Assim os resultados mostraram diferenças significativas em termos de remoção de *smear layer* entre os grupos, sendo que o grupo irrigado com EDTA apresentou resultados melhores, seguido de laser e 18% de etidronato. Portanto

é possível concluir que o EDTA é mais eficaz na remoção de *smear layer* em comparação aos outros irrigantes analisados no estudo.

Ramalho et al., em 2017, avaliaram diferentes protocolos de solução salina, hipoclorito de sódio 2,5%, EDTA 17% e PUI para observar a remoção efetiva de azul de metileno na dentina do canal radicular após a TFD. Para realizar esse estudo foi necessário analisar 40 dentes humanos, os quais deveriam ser uniradiculares, ter ausência de calcificações ou reabsorção e tratamento endodôntico prévio. Os dentes foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos, respectivos aos quatro protocolos que seriam analisados, todos os dentes foram acessados, instrumentados e preparados para receber o azul de metileno o qual permaneceu por 3 min em contato com a dentina do canal radicular, um cone de papel absorvente foi posicionado dentro do canal para absorver o excesso do corante e pode medir a cor inicial antes de ser submetido ao protocolo, assim o canal foi irradiado com laser por 4 min e lavado com a solução respectiva do seu grupo, um cone de papel absorvente secou o canal e assim foi possível medir a cor final. Para todos os grupos testados, foi possível notar uma remoção significativa da coloração da raiz de dentina e a diferença entre eles após a limpeza e após a PDT foi significativa em todos os grupos, porém os que apresentaram maior eficiência foram a solução de NaOCl 2,5% e PUI. No entanto, foi possível concluir que apesar de o hipoclorito e PUI apresentarem bons resultados de

limpeza, nenhuma solução foi capaz de remover completamente a mancha de dentina no canal.

Souza et al., em 2017, avaliaram a influência da US do irrigante final na remoção do fotossensibilizador das paredes do canal radicular após a PDT. Para isso, foram necessários 60 dentes bovinos unitários, esses foram obturados com azul de metileno a 0,01% e submetidos a PDT por 90s. Logo em seguida, as raízes foram divididas em seis grupos iguais (água destilada, DW+US, 17% EDTA, QMix, 17% EDTA+US e QMix+US), em cada grupo foi usado seu respectivo tratamento. Assim, as amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, onde um sistema de pontuação foi utilizado para avaliar as imagens e a eficácia dos seis diferentes tratamentos propostos nos três terços dos canais radiculares. Os resultados obtidos mostraram que o EDTA+US 17% e QMix+US foram os mais eficazes na remoção do fotossensibilizador em todas as regiões do canal radicular e não houve diferenças significativas comparando a eficácia nas diferentes regiões do canal do mesmo grupo. Portanto é possível concluir que o US pode auxiliar 17% EDTA e QMix na remoção do fotossensibilizador após a PDT e contribui para a limpeza das paredes do canal radicular.

Souza et al., em 2019, avaliaram a influência de diferentes protocolos de irrigação final e cimento endodôntico na resistência de união do material obturador radicular em dentina radicular

previamente tratada com PDT. Para isso cem canais foram preparados para receber o material obturador radicular. Todas as amostras foram submetidas a PDT e divididas de forma aleatória em cinco grupos iguais (Grupo1: água destilada + US; Grupo 2: 17% EDTA; Grupo 3: QMix; Grupo 4: 17% EDTA+US; Grupo 5: QMix+US). Cada grupo foi dividido também de forma aleatória em dois subgrupos de acordo com o cimento endodôntico utilizado para cimentação dos pontos de guta-percha (AH Plus ou MTA Fillapex). Assim, a resistência à união foi realizada por um teste de *push out* e os padrões observados por microscopia óptica. Os resultados obtidos mostraram que o uso de 17% de EDTA e QMix associado ou não ao US melhorou a resistência de união do material obturador radicular com qualquer dos cimentos endodônticos e o AH Plus demonstrou ser mais resistente do que o MTA Fillapex. Portanto foi possível concluir que o uso de EDTA 17% e QMix independente da associação com US e AH Plus, melhoraram a resistência de união do material obturador radicular em dentina previamente tratada com PDT.

Souza, et al., em 2019, avaliaram o efeito do protocolo de irrigação final e cimento endodôntico na resistência de união do material obturador radicular na dentina radicular previamente tratadas com PDT. Foram preparados 100 canais radiculares até a lima #F3, do sistema Pro-Taper, para receber o material obturador. Estas foram submetidas à PDT e divididas aleatoriamente em cinco

grupos (n=20) de acordo com os protocolos finais de irrigação: Grupo 1-água destilada + US; Grupo 2-17% EDTA; Grupo 3-QMix; Grupo 4-17% EDTA+US; Grupo 5-QMix+US. Dentro desses grupos, foram divididos 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 um teste de *push out*. Os padrões de falha foram observados sob microscopia óptica. A resistência de união foi avaliada pelo teste Anova two-way, seguido pelo teste post-hoc de Tukey, e o modo de falha foi avaliado pelo teste qui-quadrado ($\alpha=5\%$). O uso de 17% EDTA e QMix associado ou não ao US melhorou a resistência de união do material obturador radicular com qualquer um dos cimentos endodônticos ($p<0,05$). O AH Plus apresentou maior resistência de união do que o MTA Fillapex ($p<0,05$). Houve maior predominância de falha coesiva em todos os grupos, independentemente dos protocolos de irrigação final e cimento endodôntico testados ($p<0,05$). O uso de 17% EDTA e QMix, independentemente da associação com US, e o uso de AH Plus melhoram a resistência de união do material obturador radicular em dentina radicular previamente tratada com PDT.

Souza, et al., em 2019, avaliaram o efeito do protocolo de irrigação final e do tipo de cimento resinoso na resistência de união de pinos de fibra de vidro (GFP) em dentina radicular previamente

tratada com PDT. Foram preparados 100 canais radiculares até a broca #4 Gates Glidden para receber os GFPs. Todas as amostras foram submetidas à PDT, sendo aleatoriamente divididas em cinco grupos (n=20) de acordo com o protocolo final de irrigação: água destilada + US; 17% EDTA; QMix; 17% EDTA+EUA; e QMix+EUA. Cada grupo foi dividido aleatoriamente em 2 subgrupos (n=10) de acordo com o tipo de cimento resinoso utilizado para cimentação de GFPs: resina dupla Rely-X ARC; ou cimento resinoso autoadesivo Rely-X U200 (#M, St Paul, MN, EUA). A resistência de união foi avaliada por meio do teste de *push out*. Padrões de falha foram observados sob um microscópio óptico. As resistências de união foram comparadas usando ANOVA de duas vias, seguido pelo teste post-hoc de Tukey; modos de falha foram comparados usando o teste qui-quadrado ($\alpha=5\%$). O uso de US sobre irrigantes finais melhorou a resistência de união dos GFPs, independentemente do cimento resinoso utilizado ($p<0,05$). O tipo de cimento resinoso não influenciou na resistência de união dos GFPs ($p<0,05$), houve também maior predominância de falha coesiva em todos os grupos. O uso de US no enxágue final aumentou a resistência de união do GFP, enquanto que o tipo de cimento resinoso (duplo ou autoadesivo) não afetou a resistência de união do GFP em dentina radicular previamente tratada com PDT.

Alencar, et al., em 2021, avaliaram os efeitos de três protocolos para remoção de azul de metileno 0,01% do espaço do pino após PDT na resistência de união e formação de tag na dentina do espaço do pino de fibra. Foram realizados tratamentos de canais em 60 caninos humanos. Os espécimes foram randomizados em 6 grupos (n=10). Os grupos G1, G2 e G3 foram irrigados com solução salina, hipoclorito de sódio 2,5% (NaOCl) e NaOCl 2,5%, agitados por irrigação ultrassônica passiva (PUI), respectivamente. Nesses grupos, foi utilizado um sistema de cimentação convencional com adesivo etch-and-rinse. Os grupos G4, G5 e G6 foram irrigados com as respectivas soluções citadas acima e cimentados com sistema de cimentação convencional com adesivo universal. A formação de tags na dentina foi avaliada por microscopia confocal de varredura a laser. O teste de resistência de união *push out* foi realizado em três terços dos espécimes. Nos terços cervical e médio, a maior extensão de formação de tag dentinária ocorreu no G1 ($p=0,023$ $ep=0,033$, respectivamente). No terço apical, G1, G2 e G3 demonstraram formação de tag semelhante entre si ($p=0,089$). Nos terços cervical e médio, o G4 apresentou maior resistência de união quando comparado aos demais grupos ($p<0,05$). Os protocolos de remoção de azul de metileno a 0,01% com NaOCl, independentemente do envolvimento de irrigação ultrassônica passiva, afetam

negativamente a resistência de união e a formação de tags na dentina do espaço do pino.

Souza et al., em 2021 realizaram um estudo com o objetivo de avaliar *in vitro* a influência do irrigante final a base de ácido glicólico para a remoção do fotossensibilizador PDT na microdureza e mudança de cor da estrutura dentinária, fazendo uma comparação com EDTA e QMix. Para a realização desse estudo foi necessário oitenta incisivos humanos uniradiculares extraídos, os quais foram preparados e dividido suas raízes, resultando em 80 amostras para avaliar microdureza e as outras 80 amostras para avaliar alteração de cor. Na primeira etapa o PDT foi realizado e as 80 amostras foram divididas em 4 grupos iguais, de acordo com os protocolos finais de irrigação: água destilada, EDTA 17%, QMix e ácido glicólico 17% e a microdureza foi avaliada com o Vicker tester, antes e depois do PDT e protocolo de irrigação final, para avaliar o percentual de redução de microdureza. Na segunda etapa as outras amostras foram avaliadas, para isso os protocolos de PDT e irrigação final foram realizados da mesma forma e a mudança de cor foi avaliada por um espectrofotômetro digital antes e depois desses protocolos. Os resultados apresentaram maior percentual de redução da microdureza nos grupos irrigados com EDTA 17%, QMix e 17% GA, sem grandes diferenças entre eles, porém nenhum desses protocolos testados foi eficaz na remoção do fotossensibilizador. Assim foi possível concluir que o GA promove

redução da microdureza e contribui para a coloração da estrutura dentinária durante o processo de remoção do fotossensibilizador, seguindo a PDT.

Kourti et al., em 2022, realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a eficiência do laser de érbio na remoção da *smear layer* das raízes mesiais dos molares inferiores em diferentes configurações do laser. Para a realização do presente estudo foi necessário selecionar cem molares inferiores, desses noventa e seis raízes mesiais foram divididas em dois grupos experimentais e as quatro amostras restantes foram utilizadas como grupo controle. Cada grupo foi dividido em dois subgrupos (A e B), sendo que no subgrupo A os dentes foram irrigados com água destilada e no B foram irrigados com NaOCl 5% e enxaguados com EDTA 17% e água destilada. Cada subgrupo foi dividido em quatro subcategorias com seis amostras cada, de acordo com a potência do laser aplicada. O grupo controle foi instrumentado assim como os grupos experimentais, mas não foram irradiados. Assim, todos foram observados pelo microscópio eletrônico de varredura, chegando aos resultados de que nenhuma diferença estaticamente significativa foi observada entre os grupos experimentais I e II. Portanto com esse estudo foi possível concluir que o laser de érbio não foi capaz de remover completamente o *smear layer* dos canais radiculares.

Murugesan, et al., em 2022, compararam a eficácia de quatro diferentes soluções irrigadoras na remoção da *smear layer* no terço apical dos canais radiculares usando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foi utilizado 50 pré-molares inferiores humanos recém-extraídos com raízes únicas e não curvas. Nestes foram obtidos um CT uniforme de 15 mm e instrumentadas com um sistema de limas rotatórias ProTaper Gold. As amostras foram divididas aleatoriamente em cinco grupos com 10 amostras cada, de acordo com o irrigante final utilizado. G1-EDTA 17%, G2-NaOCl 5%, G3-Oxum, G4-água ozonizada e G5-soro fisiológico. A agitação ultrassônica da solução irrigadora foi realizada com uma lima tamanho 20. Em seguida, as amostras foram lavadas com água destilada, secas com pontas de papel, divididas em duas metades e submetidas à análise MEV. Imagens MEV da região do terço apical de amostras de raízes foram tiradas com resolução de 5000X e pontuadas em uma escala de 1 a 4. Os resultados mostraram que o grupo EDTA 17% apresentou os menores escores de *smear layer* quando comparado aos outros grupos com significância estatística. Isso foi seguido pelo grupo Oxum e pelo grupo NaOCl 5%, enquanto o grupo água ozônio e o grupo controle salino apresentaram os maiores escores de *smear layer*. O presente estudo revela que o EDTA é o irrigante superior na eliminação da *smear layer* no tratamento endodôntico.

Alghamdi et al., em 2023, avaliaram os valores de ligação por extrusão de pinos de fibra à dentina radicular quando desinfetados usando diferentes irrigantes finais. O tratamento endodôntico foi realizado em 40 pré-molares e os canais foram continuamente irrigados com solução salina normal, secos com cones de papel e obturados. A guta-percha foi removida utilizando alargadores de peso. Todos os espécimes foram alocados aleatoriamente em quatro grupos com base no irrigante final usado. Amostras no Grupo 1: 5,25% NaOCl+17% EDTA, grupo 2: 5,25% NaOCl+Q-mix 2-in-1 (água deionizada, EDTA, CHX e um detergente e destina-se a substituir o EDTA), grupo 3: 5,25% NaOCl+RFP (fotossensibilizador de riboflavina) e grupo 4: 5,25% NaOCl+LGE (extrato de limão e alho). Após a irrigação final, um pino de fibra foi colocado no espaço do canal e cimentado. As amostras foram seccionadas e cada seção foi colocada em uma máquina de teste universal para avaliar os valores de adesão. As amostras descoladas foram avaliadas quanto aos modos de falha, EBS. A secção cervical das amostras do G2 ($7,11 \pm 0,81$ MPa) apresentou o valor máximo de EBS. Os espécimes do G3, estabeleceram valores significativamente mais baixos do que todos os outros grupos investigados, no entanto, perto da seção apical da raiz, a resistência de união de todos os grupos diminuiu. Q-mix 2-em-1 como o irrigante final exibiu a maior força de união por extrusão.

Widbiller, et al., em 2023, compararam a capacidade de métodos de ativação de irrigação endodôntica para permitir a penetração do irrigante e remover a *smear layer*. Canais radiculares de 90 dentes unitários foram preparados e irrigados com EDTA (17%) e hipoclorito de sódio (5%), onde ambos os irrigantes ou apenas hipoclorito de sódio foram ativados da seguinte forma: irrigação por agulha convencional, US, ativação sônica (EDDY), ou ativação baseada em laser (fluxo fotoacústico induzido por fótons/PIPS). Para a avaliação da penetração do irrigante nos túbulos dentinários, o azul de metileno também foi injetado e ativado. Posteriormente, os dentes foram seccionados horizontalmente e as profundidades de penetração do corante foram medidas. Seções alternadas foram divididas ao meio e selecionadas aleatoriamente para análise por microscopia eletrônica de varredura. A dentina do canal radicular foi avaliada quanto à remoção da *smear layer*. Os dados foram analisados estatisticamente com testes não paramétricos e qui-quadrado para dentes inteiros e separadamente para os terços coronal, médio e apical. Todos os métodos de ativação testados removeram uma camada de *smear layer* mais espessa do que apenas a irrigação por agulha. A ativação adicional de EDTA melhorou a profundidade de penetração dos irrigantes, mas não a remoção da *smear layer*. A ativação adicional de EDTA não parece oferecer nenhuma vantagem convincente em termos de penetração do irrigante ou

remoção da *smear layer*, mas rompe a superfície da dentina. Ativação especialmente baseada em laser resultou em destruição indesejável da dentina da parede do canal radicular.

2.3 Resistência de união de guta-percha e cimento biocerâmico

Razmi et al., em 2016, avaliaram em um estudo *in vitro* o efeito do ressecamento do canal na resistência de união *push out* de dois cimentos resinosos (AH-Plus e Adseal) e um cimento biocerâmico (Endosequence BC cimento) após a irrigação do canal com hipoclorito de sódio (NaOCl) e clorexidina (CHX). Foram utilizados 18 pré-molares humanos extraídos. Os canais foram preparados e divididos em dois grupos com base na solução de irrigação (NaOCl ou CHX). As amostras foram novamente divididas com base na condição pré-obturação do canal (úmido, meio-úmido e seco). As amostras foram subdivididas em 3 grupos com base no tipo de cimento; os dentes foram obturados com guta-percha e cimentos de teste (Adseal, AH-Plus ou BC cimento). Um número total de 18 grupos estava disponível para ser cortado em discos de dentina (12 discos em cada grupo). O tipo de falha de união também foi avaliado em cada grupo. Os dados foram analisados usando ANOVA de 3 fatores, testes *post hoc* de Tukey, teste *t* e teste exato de Fisher. O nível de significância adotado foi de 0,05. A resistência de união do Adseal não foi afetada pela

condição do canal ou pela irrigação com NaOCl ou CHX. Embora a resistência de união do AH-Plus não tenha sido afetada pelo tipo de irrigante, a maior resistência de união foi observada em canais secos. Para o cimento Endosequence BC, as condições do canal não afetaram a resistência de união; no entanto, CHX reduziu a resistência de união.

Gündogar et al., em 2018, avaliaram o efeito de um irrigante comercialmente disponível, o Qmix 2 em 1, na resistência de união do Endosequence BC, que é um cimento de canais radiculares à base de biocerâmica. Sessenta incisivos centrais superiores extraídos foram preparados com instrumento rotatório Protaper Next até X4(#40). Os espécimes foram aleatoriamente divididos em quatro grupos de igual tamanho amostral (n=15), de acordo com o esquema de irrigação final: Grupo 1: hipoclorito de sódio 2,5% (NaOCl) (controle), Grupo 2: ácido etilenodiaminotetracético 17% (EDTA), Grupo 3: Clorexidina (CHX) a 2%, Grupo 4: QMix 2 em 1. Após o enxágue, os dentes foram obturados com guta-percha com cimento Endosequence BC. Cortes foram obtidos a partir de uma seção coronal, média e apical do canal radicular. O teste *push out* foi realizado para avaliar a resistência de união entre a dentina do canal radicular e o cimento. Após isso, os dados foram analisados estatisticamente. A força de união *push out* do cimento do canal radicular foi significativamente afetada pelo tipo de solução de irrigação. As

maiores resistências adesivas foram encontradas em canais irrigados com solução Qmix, e esses resultados foram independentes da seção anatômica do canal radicular ($p < 0,05$). A irrigação final dos canais radiculares com QMix teve um efeito positivo na resistência de união do cimento Endosequence BC em todo o canal radicular.

Khurana et al., em 2019, avaliaram a resistência de união e, posteriormente, analisaram o modo de falha dos três cimentos aplicados na dentina radicular com secagem final usando álcool isopropílico 70% e pontas de papel. Um total de 60 canais radiculares foram preparados e então segregados em dois grupos ($n=30$) de acordo com o protocolo de secagem, ou seja, pontas de papel ou álcool isopropílico 70%. Em seguida, essas raízes foram divididas em três subgrupos ($n=10$) com os respectivos cimentos e materiais de obturação: AH Plus e guta-percha (AH/GP), EndoSequence BC e guta-percha (EBC/GP) e MTA Fillapex e guta-percha (MFP/GP). As raízes foram então seccionadas a cada terço, e o teste de *push out* foi realizado. Os modos de falha foram examinados sob um estereomicroscópio. Os dados foram analisados estatisticamente por análise de 2 vias de testes de variância *post hoc* Tukey com um nível de significância de 5%. No geral, os canais secos com álcool isopropílico apresentaram valores de resistência de união mais altos do que a ponta de papel ($p < 0,05$). O grupo AH/GP apresentou resistência de

união menor que EBC/GP ($p < 0,05$), mas maior que MFP/GP ($p < 0,05$). A secagem com álcool isopropílico 70% melhorou a resistência de união dos cimentos do canal radicular com os túbulos dentinários melhor do que a secagem ideal com ponta de papel.

Al-Hiyasat et al., em 2019, avaliaram o efeito das técnicas de obturação na resistência de união de uma biocerâmica pré-misturada (TotalFill BC) para canais radiculares. Foram preparados, 60 primeiros pré-molares superiores humanos extraídos, com o sistema rotatório Mtwo, estes foram divididos em dois grupos de acordo com o selador a ser obturado: Selador TotalFill BC e selador AH Plus. Cada grupo foi então dividido em três subgrupos ($n=10$) de acordo com a técnica de obturação; compactação lateral fria, cone único e compactação vertical quente. Após a obturação, os dentes foram armazenados em uma incubadora por duas semanas. Três fatias de 1,5 mm de espessura foram então obtidas de cada raiz. A resistência de união dos materiais de obturação à dentina radicular foi medida usando o teste *push out* pela máquina de teste universal. Os dados foram analisados por ANOVA seguido do teste de Tukey. O modo de falha foi determinado por exame de microscópio óptico. A técnica de obturação não teve efeito significativo na resistência à união do TotalFill. Enquanto a resistência de união do AH Plus foi significativamente afetada, a compactação vertical quente e os grupos de cone único exibiram menor resistência de união do que

o grupo de compactação lateral a frio ($P < 0,05$). O modo misto de falha foi mais predominante em todos os grupos. O selador TotalFill BC mostrou maior resistência de união *push out* do que o selador AH Plus, e a técnica de obturação afetou significativamente o selador AH Plus, mas não o TotalFill.

Agarwall et al., em 2019, avaliaram o efeito de três agentes endodônticos quelantes na resistência de união *push out* de guta-percha com um novo selador biocerâmico (BioRoot RCS). Quarenta e oito pré-molares inferiores uniradiculares foram selecionados e decorados para obter comprimento de raiz padronizado de 15 mm. De acordo com a irrigação final, os espécimes foram divididos em três grupos: Grupo 1 ($n=16$) 0,2% quitosana, Grupo 2 ($n=16$) 17% EDTA e Grupo 3 ($n=16$) 1% PAA(ácido peracético) por 1 min. Amostras de cada grupo foram obturadas com selador biocerâmico e guta percha e seladas com material obturador temporário. Duas fatias horizontais de 2 mm foram obtidas a partir do terço médio de cada amostra ($n=32$). A força de adesão e os modos de falha foram avaliados. O teste de Kruskal-Wallis seguido de análise post hoc de Mann-Whitney foi usado para a análise *push out*. O teste qui-quadrado foi utilizado para comparar os modos de falha. O nível de significância estatística foi estabelecido em $p=0,05$. A maior força de adesão foi obtida com o Grupo 1 (0,2% quitosana) seguido pelo Grupo 3 (1% PAA). O Grupo 2 (17% EDTA) apresentou menor resistência de

união quando comparado ao Grupo 1 (0,2% quitosana) e Grupo 3 (1% PAA). A maior força de adesão do BioRoot RCS foi observada após o tratamento com quitosana 0,2%, enquanto a menor foi após o tratamento com EDTA. O tratamento com 1% de PAA também afetou favoravelmente a força de adesão do BioRoot RCS.

2.4 Resistência de união de pinos de fibra de vidro e cimento auto-adesivo

Souza et al., em 2019, realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a influência de protocolos de irrigação final e tipo de cimento resinoso na resistência de união de pinos de fibra de vidro (GFPs) em dentina radicular previamente tratada com PDT. Para realizar esse estudo foi necessários cem canais radiculares, os quais foram preparados para receber o GFPs, todas as amostras foram submetidas à TFD e em seguida aleatoriamente divididas em cinco grupos iguais de acordo com o protocolo final de irrigação (água destilada + US; 17% EDTA; QMix; 17% EDTA+US; e QMix+US). Cada um desses grupos foram divididos em 2 subgrupos de 10 de acordo com o tipo de cimento resinoso utilizado para a cimentação do GFPs (resina dupla Rely-X ARC; ou cimento resinoso autoadesivo Rely-X U200). A resistência de união foi avaliada por meio do teste de *push out* e os padrões de falha foram observados sob um microscópio óptico. Assim chegou-se nos resultados de que o uso de US sobre irrigantes finais melhorou a

resistência de união dos GFPs, independentemente do cimento resinoso utilizado e o tipo de cimento resinoso não influenciou na resistência de união dos GFPs. Assim, foi possível concluir que o uso de US na irrigação final melhorou a resistência de união de GFPs, enquanto o tipo de cimento resinoso (dual ou autoadesivo) não influenciou a resistência de união em dentina.

Prado et al., em 2017 realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes tratamentos superficiais em pinos de fibra de vidro cimentados com sistemas autoadesivos. Para a realização deste estudo, foram necessários 60 pinos de resina epóxi de fibra, os quais foram submetidos a um banho ultrassônico por 10 min em álcool 70%, depois de descontaminados, os pinos foram divididos em 6 grupos iguais para ser submetido a diferentes tratamentos. No grupo controle nenhum tratamento foi aplicado aos pinos, o segundo grupo foi submetido a uma fina camada de silano sobre a superfície do pino de fibra, no grupo 3 os pinos foram imersos em peróxido de hidrogênio 24% por 1 min, o grupo 4 jateou partículas de óxido de alumínio sobre os pinos e nos grupos 5 e 6 foi feito o uso de HMDSO e NH_3 . Após os pinos serem submetidos aos respectivos tratamentos do seu grupo foram inseridos em uma matriz de silicone e cimentados com cimento resinoso, depois de cimentados foi cortada quatro amostras de cada bloco e analisadas. Atingindo os resultados de que o tratamento com H_2O_2 , apresentou valores estatisticamente semelhantes ao de

controle, as falhas foram predominantemente observadas no grupo 3. Portanto, é possível concluir que os tratamentos com Silano, jateamento com óxido de alumínio e plasmas (NH_3 e HMDSO) apresentaram resultados superiores ao peróxido de hidrogênio 24%.

Oslek et al., em 2019, avaliaram por meio de um estudo *in vitro* a força de adesão de dois sistemas de pino de fibra cimentados com dois cimentos resinosos adesivos diferentes. Para a realização desse estudo, foi necessário 60 pré-molares humanos inferiores de raiz única, os quais foram igualmente distribuídos em dois grupos (grupo 1: FiberSite e grupo 2: Cytec Blanco Post), assim os dois grupos foram divididos em subgrupos (A e B), para a aplicação e teste dos dois tipos de cimento. Os cimentos foram inseridos dentro dos canais e os pinos adaptados e recobertos por cimentos, assim fotopolimerizados por 20s e logo em seguida armazenados e incubados por 72 h, após essa espera seccionaram os espécimes e realizaram o teste de força de ligação, análise do modo de falha e análise dos dados. Os resultados atingidos com essas análises, foi de que a maior força de adesão foi demonstrada pelo grupo 1B, no qual os pinos foram cimentados com Maxcem Elite e o grupo 2B que foi cimentado com o mesmo material também apresentou resultados melhores, portanto é possível concluir que o cimento Maxcem Elite apresentou uma vantagem em relação ao cimento Panavia AS, independente do sistema de pinos escolhidos.

Khoroushi et al., em 2019, avaliaram por meio de um estudo *in vitro* os efeitos do hipoclorito de cálcio e do hipoclorito de sódio, como irrigantes do canal radicular, na resistência de união de pinos cimentados com cimento resinoso autoadesivo. Foram necessários 40 incisivos centrais superiores, os quais foram aleatoriamente separados em cinco grupos, sendo que em cada grupo foi utilizado um irrigante diferente. Grupo 1: grupo controle, irrigado com solução salina normal, Grupo 2: hipoclorito de sódio 2,5%, Grupo 3: hipoclorito de sódio 5,25%, Grupo 4: hipoclorito de cálcio 2,5%, Grupo 5: hipoclorito de cálcio 5%. Todos os canais foram instrumentados e irrigados com seu respectivo irrigante, depois os pinos de fibra de vidro foram cimentados com cimento autoadesivo BisCem. Assim uma amostra de cada raiz foi preparada e analisadas em microscopia eletrônica de varredura e o restante foi realizado teste de *push out* e os resultados atingidos foram de que a resistência de união média mais alta e mais baixa foram registradas nos grupos 5 e 1, respectivamente. Portanto o uso de hipoclorito de cálcio a 5% com cimentos autoadesivos aumenta a resistência de união dos pinos de fibra à dentina do canal radicular.

Machry et al., em 2020, avaliaram o efeito de diferentes tratamentos de superfície e aplicações de silano na durabilidade da resistência de união (MTBS) dos pinos cimentados com cimento resinoso autoadesivo aos canais radiculares. Para a realização desse estudo foi necessário 80 dentes bovinos unirradiculares, esses

foram divididos em oito grupos experimentais (sem condicionamento como grupo controle, ácido fluorídrico a 10%, peróxido de hidrogênio a 35% ou abrasão a ar com partícula de alumina e todos esses grupos foram divididos em subgrupos com silanização e sem silanização), assim se submeteram ao tratamento endodôntico para os pinos de fibra de vidro serem adaptados com resina composta para preenchimento dos canais radiculares, seguido de condicionamento conforme seu respectivo grupo. O cimento resinoso autoadesivo foi usado para a cimentação do pino e foram feitas quatro fatias de cada dente já cimentado para a realização do teste de *push out*. Também foram produzidos 160 blocos de resina composta, sendo que suas superfícies foram condicionadas conforme seu respectivo grupo e cimentadas umas às outras, para a realização dos testes de MTBS. Os resultados obtidos mostraram que não houve diferença significativa para os testes de *push out* e que o envelhecimento diminuiu a resistência de união para todos os grupos e a silanização melhorou a resistência de união em todos os tratamentos, exceto a abrasão a ar, que no caso apresentou melhores resultados quando cimentadas com cimento resinoso autoadesivo. Portanto, o uso de silano produz um efeito relevante na resistência de união quando não associadas a abrasão a ar.

Santos et al., em 2021, realizaram um estudo *in vitro* com o objetivo de avaliar a influência de diferentes tratamentos

mecânicos e químicos de forma isolada ou combinada com silano, na resistência de união (BS) de pinos de fibra de vidro (GFPs) usando cimento resinoso autoadesivo. Para esse estudo, foram necessários 84 dentes bovinos uniradiculares, os quais foram divididos em seis grupos iguais e em cada grupo foi aplicado um tratamento diferente. Grupo 1: não foi realizado tratamento de superfície pois é o grupo controle, Grupo 2: silano, Grupo 3: peróxido de hidrogênio 24%, Grupo 4: peróxido de hidrogênio 24% e silano, Grupo 5: jateamento com partículas de óxido de alumínio e Grupo 6: jateamento com partículas de óxido de alumínio mais silano. Após a aplicação do seu respectivo tratamento, os grupos foram submetidos primeiramente a análise de BS e posteriormente a GFPs, atingindo os seguintes resultados. A resistência de união foi maior nos grupos 2, 4 e 6 em comparação aos outros, a falha adesiva do pino foi maior nos grupos 2, 4 e 5 e a falha adesiva cimento-dentina foi mais frequente nos grupos 1, 3 e 6. Assim foi possível concluir que a aplicação isolada de silano melhora a resistência de união dos pinos de fibra de vidro.

3. PROPOSIÇÃO

- Avaliar a influência da US do fotossensibilizador da PDT na resistência de união do material obturador/restaurador à dentina radicular.

- Avaliar, *in vitro*, a influência da US do fotossensibilizador da PDT na resistência de união do material obturador, composto por guta-percha e cimento biocerâmico Bio-C Sealer, à dentina radicular, por meio de teste *push out* em máquina de ensaio universal;

- Avaliar, *in vitro*, a influência da US do fotossensibilizador da PDT na resistência de união do material restaurador, composto por pino de fibra de vidro e cimento autoadesivo Rely-X U200, à dentina radicular, por meio de teste *push out* em máquina de ensaio universal;

- A hipótese testada é de que US do fotossensibilizador da PDT reduz a resistência de união do material obturador/restaurador à dentina radicular.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Passo Fundo (UPF).

4.1 Obtenção e preparo das amostras

Sessenta dentes humanos uniradiculares extraídos foram utilizados no presente estudo, sendo obtidos a partir do Biobanco do Curso de Odontologia da UPF. A porção coronária foi seccionada na junção amelocementária, de forma que o remanescente radicular apresentasse um comprimento de 15 mm. Foi utilizado para o corte um disco de diamante (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil), acoplado a uma peça reta de baixa rotação, sob constante refrigeração.

Todas as raízes foram preparadas utilizando o mesmo protocolo, no intuito de remover o tecido pulpar e padronizar o diâmetro do canal. O comprimento de trabalho foi estabelecido a partir da introdução de uma lima tipo-K no 10 no canal radicular, até que sua ponta fosse visualizada no foramen apical. A partir desta medida, foi reduzido 1mm, estabelecendo o comprimento de

trabalho. Na sequência, foi realizado o vedamento do foramen apical com resina fotopolimerizável Opallis (FGM, Joinville, SC, Brasil), para evitar o extravasamento das substâncias testadas durante o experimento. A impermeabilização externa das raízes foi realizada através de duas aplicações de adesivo à base de cianoacrilato (SuperBonder – Henkel, São Paulo, SP, Brasil).

A ampliação dos canais radiculares foi realizada com o sistema rotatório ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), seguindo a sequência de limas S1, S2, F1, F2 e F3. Todos os instrumentos foram utilizados no comprimento de trabalho, com velocidade de 250 rpm e torque de 2 N, programados previamente no motor X-Smart Plus (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). A substância química auxiliar utilizada durante a instrumentação das raízes foi água destilada (Decloquimis, São Paulo, SP, Brasil), renovada a cada troca de instrumento. Após a instrumentação, foi realizada uma lavagem final com 3 mL de EDTA 17% (Iodontosul, Porto Alegre, RS, Brasil), durante 3 minutos, para a remoção de *smear layer*. Depois disso, foi realizada irrigação final com 5 ml de água destilada estéril e aspiração com cânula de sucção.

Das 60 raízes obtidas e preparadas, 30 serão utilizadas para a avaliação da resistência de união do material obturador e 30 para a avaliação da resistência de união do material restaurador. Nas 30 raízes utilizadas para a avaliação da resistência de união do material restaurador, após o preparo químico-mecânico com o

sistema rotatório Pro-Taper, os canais radiculares foram alargados em seus terços coronário e médio com brocas Gates Glidden no 2, 3 e 4, a uma profundidade de 10 mm, para proporcionar espaço adequado para cimentação dos pinos de fibra de vidro. As brocas Gates Glidden foram utilizadas em uma peça de mão de baixa velocidade acionada por micromotor elétrico a uma velocidade de rotação constante de 10.000 rpm, no sentido coroa-ápice, usando um suave movimento digital de entrada e saída. Os canais radiculares foram, então, irrigados com 3 mL de EDTA 17% (Iodontosul, Porto Alegre, RS, Brasil), durante 3 minutos, para a remoção de *smear layer*. Depois disso, foi realizada irrigação final com 5 ml de água destilada estéril e aspiração com cânula de sucção.

4.2 Protocolo de PDT

Em cada avaliação, as 30 raízes serão divididas em 3 grupos (n=10), de acordo com o protocolo de PDT utilizado, como segue:

Grupo 1 (controle negativo) – água destilada: os canais radiculares foram preenchidos com água destilada (Natupharma, Passo Fundo, RS, Brasil), utilizando seringa descartável de 5 ml e agulha hipodérmica (20 x 5,5 mm), até o extravasamento para a entrada do canal radicular. A solução irrigadora permaneceu em contato com as paredes do canal radicular pelo período de 5

minutos. Depois disso, foi realizada irrigação com 5 ml de água destilada e aspiração com cânula de sucção.

Grupo 2 – PDT convencional: os canais radiculares foram preenchidos com azul de metileno 0,01% (Chimiolux – DMC, São Carlos, SP, Brazil) até o extravasamento, permanecendo em repouso por 5 minutos (tempo de pré-irradiação). Em seguida, uma fibra óptica intracanal esterilizada foi acoplada a um aparelho de laser de baixa intensidade (X-Therapy, DMC, São Carlos, SP, Brazil) e inserida 2 mm aquém do comprimento de trabalho. Os canais radiculares foram irradiados por 90 segundos, utilizando 100 mW de potência, 660-690 de comprimento de onda e 9J de dose, de acordo com instruções do fabricante. Depois da PDT, foi realizada irrigação final com 5 ml de água destilada e aspiração com cânula de sucção.

Grupo 3 – PDT + US: o mesmo protocolo de terapia fotodinâmica descrito no grupo 2 foi realizado neste grupo de tratamento. A única diferença é que, no último minuto do tempo de pré-irradiação, foi realizada a US do azul de metileno 0,01%. A US foi realizada com aparelho ultrassônico (Soniclax BP Led, Schuster Equipamentos Odontológicos, Santa Maria, RS, Brasil). O inserto ultrassônico de aço inoxidável E1 Irrisonic (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil) inserido 1 mm aquém do comprimento de trabalho e ativado por 1 min. A escala de potência 2 para endodontia (20% de potência) foi utilizada para promover a

US. Depois do protocolo PDT + US, foi realizada irrigação final com 5 ml de água destilada e aspiração com cânula de sucção.

4.3 Avaliação da resistência de união do material obturador

Trinta raízes foram utilizadas para esta avaliação. Após a realização da PDT, as 10 raízes de cada grupo foram obturadas com o cimento biocerâmico Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brasil), cone de guta-percha F3 do sistema rotatório ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e cones acessórios de guta-percha (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil). A técnica da condensação lateral foi realizada para a obturação dos canais radiculares. O cimento Bio-C Sealer foi aplicado em toda extensão do cone principal de guta-percha F3 calibrado no comprimento de trabalho, posicionando o cone previamente calibrado no interior do canal radicular. Na sequência, nova aplicação de cimento em toda extensão do cone foi realizada e o cone reposicionado no interior do canal radicular. Em seguida, os cones acessórios foram introduzidos com auxílio de um espaçador digital “B” (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Os cones acessórios foram utilizados até o momento em que o espaçador digital não penetrou mais do que cinco milímetros no interior do canal. Então, foi realizado o corte do excesso de cones de guta percha com auxílio de um condensador de Paiva número 2 (SS White Duflex, Rio de Janeiro,

RJ, Brasil) aquecido em lamparina, realizando, por fim, a condensação vertical a frio com o mesmo condensador.

Depois de obturadas, as raízes tiveram o primeiro milímetro de cada canal selado com cimento obturador provisório (Figura 50; Villevie, Joinville, SC, Brasil) e, em seguida, armazenadas por 21 dias no interior de uma estufa com temperatura constante de 37°C e relativa umidade. Após os 21 dias de armazenamento, as raízes de cada grupo foram fixadas com cera pegajosa em uma placa de acrílico (60x20x3mm) e posicionadas em uma cortadeira metalográfica. Foram realizadas secções horizontais nas raízes, sendo descartado o primeiro disco e obtidos três discos subsequentes de em torno de 1 mm de espessura de cada raiz, totalizando 30 discos por grupo ($n=3 \times 10=30$) contendo dentina +material obturador. Estes discos foram submetidos ao teste de *push out* por meio de uma máquina de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil).

Para o teste de *push out*, 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 material obturador por meio de um pistão metálico, o qual apresenta secção circular, cobrindo a maior área de material obturador possível, sem tocar as paredes da dentina. O pistão metálico estará conectado a uma célula de carga de 2000N, a qual estava conectada à máquina

de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil). O teste foi realizado com uma velocidade de 1 mm por minuto e a carga foi aplicada até que ocorresse a extrusão do fragmento de material obturador. A partir disso, foi obtida no computador conectado à máquina a medida de força, em Newtons (N), necessária para o deslocamento do material.

Após a realização dos testes de *push out*, os discos de dentina foram observados individualmente no microscópio óptico (Figura 55; Carl Zeiss, São Paulo, SP, Brasil) acoplado ao computador, de forma que, em um aumento de 50x, foi possível medir o perímetro do canal na porção cervical e apical do disco de dentina. A medida do perímetro foi inserida na fórmula $C=2\pi R$, obtendo-se desta maneira, uma medida média dos raios. Esta média dos raios foi utilizada para o cálculo da área lateral do tronco do cone, utilizando a seguinte fórmula, conforme descrito no trabalho de Dias et al. (2014): $A = \pi.(R+r).[h^2 + (R-r)^2]^{0,5}$.

A resistência de união foi calculada em MPa, através da divisão da força em N obtida no teste de *push out* pela área (A) de superfície do canal. Ao mesmo tempo, no microscópio óptico, foram observados e classificados os padrões de falha no material obturador ou restaurador de cada amostra, como segue:

1) Falha adesiva: entre dentina e cimento, ausência de cimento nas paredes dentinárias do canal radicular; 2) Falha coesiva: falha do material obturador ou restaurador (cimento/guta-

percha ou pino de fibra de vidro), presença de cimento nas paredes dentinárias do canal radicular; 3) Falha mista: ambas as falhas podem ser observadas.

4.4 Avaliação da resistência de união do material restaurador

Trinta raízes foram utilizadas para esta avaliação. Após a realização da PDT, pinos de fibra de vidro foram cimentados com cimento auto-adesivo no interior das 10 raízes de cada grupo. Os pinos de fibra de vidro nº 1 (GFP) (White Post – FGM, Joinville, SC, Brasil) foram limpos com ácido fosfórico 35% por 30s, enxaguados por 30s e secos suavemente ao ar. A aplicação do silano (3M ESPE – Campinas, SP, Brasil) nos pinos foi realizada por 1 min, seguida da aplicação do adesivo Single-Bond (3M ESPE – Campinas, SP, Brasil) e fotopolimerização por 40s com fonte de luz halógena e potência de 600 mV/cm² (Optilux, Demetron Res. Corp, Danbury CT, EUA). A dentina do canal radicular não foi condicionada. Posteriormente, foi injetado cimento autoadesivo Rely-X U200 (3M ESPE – Campinas, SP, Brasil) com seringa Centryx e agulha Acudosse (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Os pinos de fibra de vidro foram cobertos com cimento e posicionados dentro do canal radicular a 10 mm de nível, sendo mantidos sob pressão digital por 20s. O excesso de cimento foi removido, sendo

polimerizado com fonte de luz halógena de 600 mW/cm² (Optilux) por 30s em cada face (vestibular, palatina, mesial, distal e oclusal).

As raízes foram armazenadas e seccionadas da mesma forma descrita na avaliação da resistência de união do material obturador. Do mesmo modo, foram realizados o teste de *push out* e a análise dos padrões de falha.

4.5 Análise estatística

A distribuição normal dos resultados foi confirmada pelo teste de Kolmogorov–Smirnov ($p < 0,05$). A resistência de união, em ambas avaliações, foi analisada por meio de two-way ANOVA, seguida do teste post-hoc de Tukey, possibilitando uma análise quantitativa desses dados. A distribuição dos modos de falha entre os grupos foi analisada pelo teste qui-quadrado, possibilitando uma análise descritiva desses dados. Todos os testes foram estabelecidos com nível de significância de 5%. Os dados serão analisados utilizando Stat Plus AnalystSoft Inc. versão 6.0 (Vancouver, BC, Canadá).

5. RESULTADOS

A média (desvio padrão) da resistência de união do material obturador à dentina radicular e o percentual dos padrões de falha após os protocolos testados estão expressos na Tabela 1. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a resistência de união foi significativamente inferior nos grupos 2 (PDT) e 3 (PDT+US) quando comparados ao grupo controle ($p < 0,05$), sem diferença estatisticamente significante entre si ($p > 0,05$). Em relação ao percentual dos padrões de falha, não foi revelada diferença estatisticamente significante entre os grupos testados ($p > 0,05$), havendo predomínio de falha coesiva em todos os grupos, seguido pela falha mista e, por fim, falha adesiva.

Table 1. Mean (SD) of bond strength of filling material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW ^a	30	4.93 (1.19)	3.32	33.34	63.34
2. PDT ^b	30	2.80 (0.73)	0.00	30.00	70.00
3. PDT+US ^b	30	2.07 (0.86)	10.00	33.33	56.67

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$). ** DW, distilled water; PDT, photodynamic therapy; US, ultrasonic activation.

A média (desvio padrão) da resistência de união do material restaurador à dentina radicular e o percentual dos padrões de falha após os protocolos testados estão expressos na Tabela 2. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a resistência de união foi significativamente inferior nos grupos 2 (PDT) e 3 (PDT+US) quando comparados ao grupo controle ($p < 0,05$), sem diferença estatisticamente significante entre si ($p > 0,05$). Em relação ao percentual dos padrões de falha, não foi revelada diferença estatisticamente significante entre os grupos testados ($p > 0,05$), havendo predomínio de falha coesiva em todos os grupos, seguido pela falha mista e, por fim, falha adesiva.

Table 2. Mean (SD) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW ^a	30	4.62 (1.26)	6.67	19.99	73.34
2. PDT ^b	30	2.50 (0.28)	10.00	33.33	56.67
3. PDT+US ^b	30	2.77 (0.49)	13.34	39.99	46.67

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$). ** DW, distilled water; PDT, photodynamic therapy; US, ultrasonic activation.

6. DISCUSSÃO

A endodontia enfrenta diversos desafios, especialmente no que tange à adesão dos materiais restauradores ao interior do canal radicular, que pode ser comprometida pela umidade e complexidade anatômica da estrutura dentária (De Souza Ferreira et al., 2012). Além disso, a persistência de microrganismos, mesmo após a instrumentação e irrigação, representa uma barreira significativa para o sucesso do tratamento endodôntico (Ghinzelli et al., 2014). A etiologia microbiana das infecções endodônticas está fortemente associada à presença de *E. faecalis*, uma bactéria resistente às terapias convencionais e capaz de formar biofilmes organizados que dificultam sua eliminação (Du et al., 2012; Garcez et al., 2011).

Com a evolução dos instrumentos endodônticos, a introdução de sistemas rotatórios de níquel-titânio possibilitou maior flexibilidade e preservação da estrutura dentinária, reduzindo o tempo de preparo do canal e otimizando a limpeza do espaço endodôntico (Agarwal et al., 2019; Khurana et al., 2019). No entanto, a redução do tempo de contato das SQA's pode

comprometer sua eficácia antimicrobiana, o que demanda o uso de técnicas auxiliares, como a US, para potencializar a remoção da *smear layer* e melhorar a penetração dos irrigantes (Souza et al., 2019; Murugesan et al., 2022). Nesse contexto, a PDT também se mostra como um recurso adicional para descontaminação (Garcez et al., 2011; Niavarzi et al., 2019).

A PDT é um método antimicrobiano inovador utilizado como adjuvante no tratamento endodôntico, especialmente para a descontaminação de canais radiculares infectados. Seu mecanismo de ação baseia-se na interação de um fotossensibilizador, geralmente um corante como azul de metileno ou toluidina azul, com uma fonte de luz específica, como laser de baixa potência ou LED, na presença de oxigênio molecular. Essa interação resulta na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o oxigênio singlete e radicais livres, que promovem danos irreversíveis às estruturas celulares dos microrganismos, incluindo membranas celulares, DNA e proteínas (Masuda et al., 2018; Niavarzi et al., 2019).

Estudos como os de Garcez et al. (2011) e Du et al. (2012) demonstram a eficácia antimicrobiana da PDT em infecções endodônticas, principalmente contra *E. faecalis*. Da Silva et al. (2018), em uma investigação clínica e microbiológica, também evidenciou que a PDT, quando associada ao tratamento endodôntico convencional, promoveu uma redução significativa da

carga bacteriana, potencializando a descontaminação dos canais. Além disso, já foi demonstrado que a ativação do fotossensibilizador com técnicas ultrassônicas demonstrou um aumento na profundidade de penetração e na eficácia do protocolo antimicrobiano (Tennert et al., 2015; Souza et al., 2017).

Porém, a formação da *smear layer* química decorrente do uso de corantes fotossensibilizadores na PDT tem sido um ponto de preocupação em relação à adesão dos materiais obturadores e pinos de fibra. De acordo com o estudo de Souza et al. (2017), o corante utilizado na PDT pode se depositar na superfície dentinária e formar uma camada residual após a irradiação com laser. Esse resíduo, muitas vezes composto por fragmentos de corante fotossensibilizador e subprodutos da interação fotoquímica, pode alterar a composição química da dentina e influenciar a adesão de materiais restauradores, interferindo na qualidade da interface adesiva entre a dentina radicular e os cimentos endodônticos.

Souza et al. (2019) demonstraram que a presença do corante residual pode comprometer a adesão dos cimentos endodônticos e reduzir a força de união entre a dentina radicular e os materiais restauradores devido à modificação química da superfície dentinária, que pode afetar a infiltração e a polimerização dos cimentos resinosos. Além disso, o efeito da PDT na umidade da dentina também pode impactar a estabilidade da interface adesiva, tornando-a mais suscetível à degradação ao longo do tempo.

Para minimizar esses efeitos, foram sugeridos protocolos auxiliares de irrigação final com a ativação dos irrigantes para remover os resíduos do corante e melhorar a adesão dos materiais obturadores (Souza et al., 2019b). Já foi demonstrado que a US de irrigantes, como o hipoclorito de sódio e o EDTA, potencializa a eliminação da *smear layer* e dos biofilmes bacterianos, facilitando a ação antimicrobiana e melhorando a desinfecção final do canal radicular (Niavarzi et al., 2019).

A US é uma tecnologia baseada na propagação de ondas sonoras de alta frequência em meios sólidos ou líquidos, enquanto a US na endodontia se refere ao uso dessas ondas para promover a movimentação e cavitação de soluções irrigantes dentro do sistema de canais radiculares (Murugesan et al., 2022). Assim, a US tem sido explorada como um meio de aumentar a ação antimicrobiana da PDT (Ghinzelli et al., 2014), no sentido de melhorar a distribuição do corante fotossensibilizador dentro dos túbulos dentinários e biofilmes microbianos, garantindo uma exposição mais homogênea à luz laser e potencializando a geração de EROs (Tennert et al., 2015). Além disso, a US poderia remover resíduos fotossensibilizadores, prevenindo a formação de *smear layer* química que interfere na adesão de materiais obturadores e pinos de fibra (Souza et al., 2017).

Os cimentos biocerâmicos e os cimentos auto-adesivos são amplamente utilizados na cimentação de pinos de fibra e na

obturação de canais radiculares devido às suas propriedades adesivas e seladoras (Carvalho et al., 2017). Os cimentos biocerâmicos são materiais bioativos e biocompatíveis à base de silicato de cálcio, com capacidade de induzir a formação de hidroxiapatita na interface dentinária. Seu mecanismo de adesão ocorre pela interação química entre os íons liberados pelo cimento (Ca^{2+} e PO_4^{3-}) e os túbulos dentinários (Carvalho et al., 2017). Além disso, apresentam uma leve expansão durante a presa, que melhora a vedação do canal e reduz a microinfiltração bacteriana (Khurana et al., 2019). Já os cimentos auto-adesivos possuem uma composição baseada em monômeros funcionalizados com grupos fosfato, que interagem diretamente com a hidroxiapatita, permitindo adesão química e micromecânica sem necessidade de primer ou agente adesivo (Ozlek et al., 2019), simplificando o procedimento clínico e reduzindo a técnica-dependência (Prado et al., 2017).

A escolha desses cimentos no estudo se justifica pela necessidade de avaliar como a PDT e a US influenciam a adesão de materiais obturadores e pinos de fibra. Estudos indicam que a resistência de união dos cimentos pode ser afetada pela umidade da dentina e pela presença de resíduos da irrigação endodôntica, tornando necessário um protocolo adequado de preparo da superfície radicular antes da cimentação (Prado et al., 2017). Como a PDT pode modificar a composição química da dentina e gerar

resíduos do corante fotossensibilizador, e a US pode alterar a umidade e a topografia da dentina radicular, torna-se fundamental analisar o comportamento dos cimentos biocerâmicos e auto-adesivos sob essas condições. Além disso, esses cimentos representam as opções mais utilizadas na endodontia contemporânea, o que confere relevância clínica aos resultados obtidos.

Para avaliar a resistência de união de cimentos endodônticos e pinos de fibra à dentina radicular, o teste de *push out* é um dos métodos mais utilizados na literatura. Através dele, Souza et al. (2019b) analisaram a resistência de união de cimentos resinosos duais e auto-adesivos em canais radiculares tratados com diferentes irrigantes e a PDT, evidenciando que resíduos da PDT podem interferir na adesão dos materiais cimentantes. Khoroushi et al. (2019) também avaliaram o efeito de irrigantes na união de pinos de fibra, demonstrando que a interação química entre o irrigante e a dentina pode afetar a resistência adesiva final. Além disso, Machry et al. (2020) investigaram o impacto de diferentes tratamentos superficiais nos pinos de fibra, demonstrando que a modificação química da superfície dentinária influencia diretamente a adesão dos cimentos endodônticos.

Os menores valores de resistência de união observados nos grupos tratados com PDT e PDT associada à US podem ser justificados pela formação de uma *smear layer* química resultante

da deposição de resíduos do corante fotossensibilizador na superfície dentinária. Durante a PDT, o corante interage com a dentina e pode se adsorver na estrutura dentinária, dificultando a adesão dos materiais cimentantes (Souza et al., 2017). Essa camada residual pode atuar como uma barreira, reduzindo a infiltração dos cimentos endodônticos nos túbulos dentinários e comprometendo a interface adesiva.

A cavitação acústica gerada pela US também pode ter apenas fragmentado parte da *smear layer* química sem expor a dentina subjacente, não favorecendo a penetração dos cimentos biocerâmicos e auto-adesivos (Souza et al., 2017). Com os efeitos adversos da PDT sobre a resistência adesiva já estabelecidos pela formação prévia da *smear layer* química, porém, a US não agravou essa condição. Ou seja, a presença do corante residual já havia comprometido a interface adesiva, e a US apenas modificou a *smear layer* química existente, mas sem removê-la completamente.

Os achados deste estudo apresentam implicações clínicas relevantes para a prática endodôntica, especialmente no que se refere à eficácia da PDT e US na resistência de união de materiais restauradores. Além disso, destaca a importância da remoção eficiente da *smear layer* química gerada pelo corante utilizado na PDT, uma vez que sua permanência pode interferir na adesão dos materiais restauradores. Para pesquisas futuras, recomenda-se explorar novos protocolos de irrigação e substâncias quelantes que

possam otimizar a remoção da *smear layer* química sem comprometer a integridade estrutural da dentina (Souza et al., 2017). Outro aspecto que merece investigação é a influência de diferentes fotossensibilizadores e modos de US na adesão dos materiais restauradores, visando o desenvolvimento de estratégias que conciliam máxima eficácia antimicrobiana e mínima interferência na resistência de união (Masuda et al., 2018; Souza et al., 2017).

7. CONCLUSÃO

Diante das limitações do presente estudo, pode-se concluir que a US do fotossensibilizador da PDT não influenciou na resistência de união do material obturador composto por guta-percha e cimento biocerâmico e do material restaurador composto por pinos de fibra de vidro cimentados com cimento auto-adesivo à dentina radicular, quando comparada à PDT convencional sem a US do fotossensibilizador. No entanto, a US do fotossensibilizador da PDT diminuiu a resistência de união do material obturador composto por guta-percha e cimento biocerâmico e do material restaurador composto por pinos de fibra de vidro cimentados com cimento auto-adesivo à dentina radicular.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C.M.; COSTA, J.L.S.G.; JASSÉ, F.F.A.; CAMPOS, E.A.; DANTAS, A.A.R.; KUGA, M.C. Evaluation of various methods of methylene blue removal from the post space after photodynamic therapy on the bonding interface using different resin cementation systems. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.34, p.102-264, 2021.

AGARWAL, S.; RAGHU, R.; SHETTY, A.; GAUTHAM, P.M.; SOUPARNIKA, D.P. An in vitro comparative evaluation of the effect of three endodontic chelating agents (17% ethylenediamine tetraacetic acid, 1% peracetic acid, 0.2% chitosan) on the push out bond strength of gutta percha with a new bioceramic sealer (BioRoot RCS). *JCD*, v.22 n.5, p.475-478, 2019.

ALGHAMDI, A.S.; ALSALHI, H.; ALMUTAIRI, N.; ALOTAIBI, B.; BARAKAT, A.A.; KHANAM, H.K.; ELGENDY, F.; ALAWFI, A.A. Push out bond strength of fiber post to radicular dentin using Q-mix, lemon/garlic extract, and riboflavin activated by photodynamic therapy as a final canal irrigant. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, v.27 n.9, p.3793-3798, 2023.

AL-HIYASAT, A.S.; ALFIRJANI, S.A. The effect of obturation techniques on the push-out bond strength of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Den*, v.89, p.103-169, 2019.

ASHRAF, H.; ASNAASHARI, M.; DARMIANI, S.; BIRANG, R. Smear layer removal in the apical third of root canals by two chelating agents and laser: A comparative in vitro study. *Iran Endod J*, v.9, n.3, p.210-214, 2014.

ASNAASHARI, M.; ASHRAF, H.; RAHMATIR, A.; AMINI, N. A comparison between effect of photodynamic therapy by LED and calcium hydroxide therapy for root canal disinfection against *Enterococcus faecalis*: A randomized controlled trial. *Photodyn Ther*, v.17 p.226-232, 2017.

BORSATTO, M.C.; CORREA-AFONSO A.M.; LUCISANO M.P.; BEZERRA DA SILVA R.A.; PAULA-SILVA F.W.G.; NELSON-FILHO P., BEZERRA DA SILVA L. A. One-session root canal treatment with antimicrobial photodynamic therapy (aPDT): An in vivo study. *Int Endod J*, v.49 p.511-518, 2016.

CARVALHO, E.S.; MELO, I.; ALBERGARIA, S.J.; HABITANTE, S.M.; MARQUES, J.L.; RALDI, D.P. Effect of chemical substances in removing methylene blue after photodynamic therapy in root canal treatment. *Photomed Laser Surg*, v.29, n.8, p.559-630, 2011.

CARVALHO, C.N.; GRAZZIOTIN-SOARES, R.; DE MIRANDA CANDEIRO, G.T.; GALLEGO MARTINEZ, L.; DE SOUZA, J.P.; SANTOS OLIVEIRA, P.; BAUER, J.; GAVINI, G. Micro push-out bond strength and bioactivity analysis of a bioceramic root canal sealer. *Iran Endod J*, v.12, n.3, p.343-348, 2017.

CHINIFORUSH, N.; POURHAJIBAGHER, M.; SHAHABI, S.; KOSARIEH, E.; BAHADOR, A. Can antimicrobial photodynamic Therapy (aPDT) enhance the endodontic treatment?. *J Laser Medicina Sci*, v.7, n.2, p.76-85, 2016.

DA SILVA, C.C.; CHAVES JÚNIOR, S.P.; PEREIRA, G.L.D.; FONTES, K.B.F; ANTUNES, L.A.; PÓVOA, H.C.C.; ANTUNES, L.S.; LORIO, N.L.P.P. Antimicrobial photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment: A clinical and molecular microbiological study. *Photochem Photobiol*, v.97, p.351-356, 2018.

DE ARAÚJO, L.P.; DA ROSA, W.L.O.; GOBBO, L.B.; DA SILVA, T.A.; DE ALMEIDA, J.F.A.; FERRAZ, C.C.R. Global research trends on photodynamic therapy in endodontics: A bibliometric analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v.40, p.103039, 2022.

DE SOUZA FERREIRA, R.; ANDREIUOLO, R.F.; MOTAL, C.S.; CERVANTE DIAS, K.R.H.; DE MIRANDA, M.S. Adhesive cementation of fiber reinforced posts. *Rev Bras Odontol*, v.69 n.2, 2012.

DIAS, K.C.; SOARES, C.J.; STEIER, L.; VERSIANI, M.A.; RACHED-JÚNIOR, F.J.; PÉCORÁ, J.D.; SILVA-SOUSA, Y.T.; DE SOUSA-NETO, M.D. Influence of drying protocol with isopropyl alcohol on the bond strength of resin-based sealers to the root dentin. *J Endod*, v. 40, n.1, p.1454-1458, 2014.

DU, T.; MA, J.; YANG, P.; XIONG, Z.; LU, X.; CAO, Y. Evaluation of antibacterial effects by atmospheric pressure nonequilibrium plasmas against *Enterococcus faecalis* biofilms in vitro. *J Endod*, v.38, p.545-549, 2012.

GARCEZ, A.S.; RIBEIRO, M.S.; TEGOS, G.P.; NÚÑEZ, S.C.; JORGE, A.O.; HAMBLIN, M.R. Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection. *Lasers Surg Med*, v.39, n.1, p.59-66, 2011.

GHINZELLI, G.C.; SOUZA, M.A.; CECCHINA, D.; FARINA, A.P.; FIGUEIREDO, J.P. Influence of ultrasonic activation on photodynamic therapy over root canal system infected with *Enterococcus faecalis* — An in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v.11, p.472-478, 2014.

GÜNDOĞAR, M.; SEZGIN, G.P.; ERKAN, E.; ÖZYLMAZ, Ö.Y. The influence of the irrigant QMix on the push-out bond strength of a bioceramic endodontic sealer. *Eur Oral Res*, v.52, n.2, p.64-68, 2018.

HENDI, S.S.; MARYAM, S.; POORMORADI, B.; ALIKHANI, M.Y.; AFSHAR, S.; FARMANI, A. Antibacterial effects of a 940 nm diode laser with/ without silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis*. *J Lasers Med Sci*, v.24, n.12, 2021.

KHOROUSHI, M.; NAJAFABADI, M.A.; FEIZ, A. Effects of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite, as root canal irrigants, on the bond strength of glass fiber posts cemented with self-adhesive resin cement. *Front Dent*, v.16, n.3, p.214-223, 2019.

KHURANA, N.; CHOURASIA, H.R.; SINGH, G.; MANSOORI, K.; NIGAM, A.S.; JANGRA, B. Effect of drying protocols on the bond strength of bioceramic, MTA and resin-based sealer obturated teeth. *Int J Clin Pediatr Dent* v.12, n.1, p.33-36.

KOURTI, E.; PANTELIDOU, O.P.; TOLIDIS, K.; ANGELOPOULOS, C.; STRAKAS, D. Laser applications in smear layer removal from posterior root canals: A comparative study. *J. Conserv Dent*, v.25, n.3, p.283-287, 2022.

MACHRY, R.V.; FONTANA P.E.; BOHRER, T.C.; VALANDRO, L.F.; KAIZER, O.B. Effect of different surface treatments of resin relined fiber posts cemented with self-adhesive resin cement on push-out and microtensile bond strength tests. *Oper Dent*, v.45, n.4, p.185-195, 2020.

MASUDA, Y.; SAKAGAMI, H.; HORIIKE, M.; KADOKURA, H.; YAMASAKI, T.; KLOKKEVOLD, P.R.; TAKEI, H.H.; YOKOSE, S. Photodynamic therapy with pyoktanin blue and diode laser for elimination of *enterococcus faecalis*. *In Vivo*. 2018;32(4):707-712. doi: 10.21873/invivo.11298.

MIRANDA, R.G.; COLOMBO, A.V. Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial. *Clin Oral*, v.22, n.4, p.1751-1761, 2018.

MOHAMMAD, A.; BALLLLAYA, S.V.; THUMU, J.; MAROLI, S.; SHANKARAPPA, P. Effect of ultrasonic activation of photosensitizer dye temoporfin (Foscan) on antimicrobial photodynamic therapy: An ex vivo study. *J Conserv Dent*, v.20, n.6, p.419-423, 2017.

MURUGESAN, K.; VISHWANATH, S.; KADANDALE, S.; THANIKACHALAM, Y.; PARTHASARATHY, R.; ILANGOL, S. Comparative evaluation of smear layer removal in apical third using four different irrigants with ultrasonic agitation: An in vitro scanning electron microscopy (SEM) analysis. *Cureus*, v.14, n.3, p.248-252, 2022.

NIAVARZI, S.; POURHAJIBAGHER, M.; KHEDMAT, S.; GHABRAEI, S.; CHINIFORUSH, N.; BAHADOR, A. Effect of ultrasonic activation on the efficacy of antimicrobial photodynamic therapy: Evaluation of penetration depth of photosensitizer and elimination of *Enterococcus faecalis* biofilms. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.27, p.362-366, 2019.

OZLEK, E.; NEELAKANTAN, P.; MATINLINNA, J.P.; BELLI, S.; UGUR, M.; KAVUT, I. Adhesion of two new glass fiber post systems cemented with self-adhesive resin cements. Dent J. (Basel), v.7, n.3, p.80, 2019.

PISANI-PROENCA, M.C.; ERHARDT, R.; AMARAL, L.F.; VALANDRO, M.A.; BOTTINO, R.; DEL CASTILLO-SALMERON. Influence of different surface conditioning protocols on microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. J. Prosthet. Dent, v.105, p.227-235, 2011.

PRADO, M.; MARQUES, J.N.; PEREIRA, G.D.; SILVA, E.M.; SIMÃO, R.A. Evaluation of different surface treatments on fiber post cemented with a self-adhesive system. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, v.1, n.77, p.257-262, 2017.

RAMALHO, K.M.; CUNHA, S.R.; SANTOS, E.M.; EDUARDO, C.P.; FREITAS, P.M.; ARANHA, A.C.; NETTO, C.M. In vitro evaluation of methylene blue removal from root canal after photodynamic therapy. Photodiagnosis Photodyn Ther, v.20, p.248-252, 2017.

SANTOS, L.R.; LIMA, D.M.; CARVALHO, E.M.; RODRIGUES, V.P.; ALVES, C.C. Effect of glass fiber post surface treatment on bond strength of a self-adhesive resin cement: An "in vitro" study. Int J Dent, v.24, n.10, 2021.

SOUZA, M.A.; PAZINATTO A.B.; BISCHOFF, K.F.; PALHANO, H.S.; CECCHINA, D.; POLI, J.A. Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.17, p.216-220, 2017.

SOUZA, M.A.; RAUBER, M.G.; ZUCHI, 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. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.26, p.137-141, 2019a.

SOUZA, M.A.; BONACINA, L.V.; RICCI, R.; PADILHA RAUBER, 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. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.26, p.224-228, 2019b.

SOUZA, M.A.; TRENTINI, B.M.; PARIZOTTO, T.F.; VANIN, G.N.; DA SILVA PIUCO, L.; RICCI, R.; BISCHOFF, K.F.; DIAS, C.T.; PECHO, O.E.; BERVIAN, J.; CECCHIN, D. Influence of a glycolic acid-based final irrigant for photosensitizer removal of photodynamic therapy on the microhardness and colour change of the dentin structure. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.33, p.102151, 2021. doi: 10.1016/j.pdpdt.2020.102151.

RAMALHO, K.M.; CUNHA, S.R.; MAYER-SANTOS, E.; EDUARDO, C.P.; FREITAS, P.M.; ARANHA, A.C.C.; MOURA-NETTO, C. In vitro evaluation of methylene blue removal from root canal after photodynamic therapy. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.20, p.248-252, 2017.

RAZMI, H.; BOLHARI, B.; KARAMZADEH DASHTI, N.; FAZLYAB, M. The effect of canal dryness on bond strength of bioceramic and epoxy-resin sealers after irrigation with sodium hypochlorite or chlorhexidine. *Iran Endod J*, v.11, n.2, p.129-133, 2016.

TENNERT, C.; DREWS, A.M.; WALTHER, V.; ALTENBURGER, M.J.; KARYGIANNI, L.; WRBAS, K.T.; HELLWIG, E.; AL-AHMADAL, A. Ultrasonic activation and chemical modification of photosensitizers enhances the effects of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* root-canal isolates. *Photodiagn Photodyn Ther*, v.12, p.244-251, 2015.

WIDBILLER, M.; ROSENDAHL, A.; SCHLICHTING, R.; SCHULLER, C.; LINGL, B.; HILLER, K.A.; BUCHALLA, W.; GALLER, K.M. Impact of endodontic irrigant activation on smear layer removal and surface disintegration of root canal dentine in vitro. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, v.11, n.3, p.376, 2023.

ANEXOS

ANEXO I - Figuras



Figura 1. Corte das coroas e vedação dos forâmens das raízes.

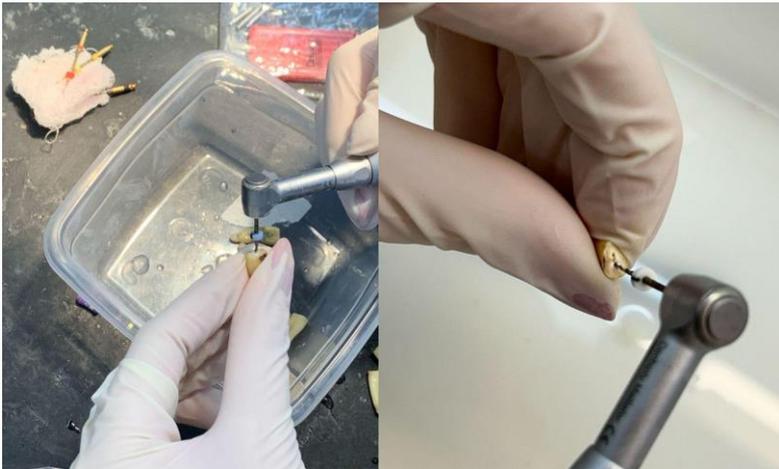


Figura 2. Preparo e instrumentação dos canais radiculares.

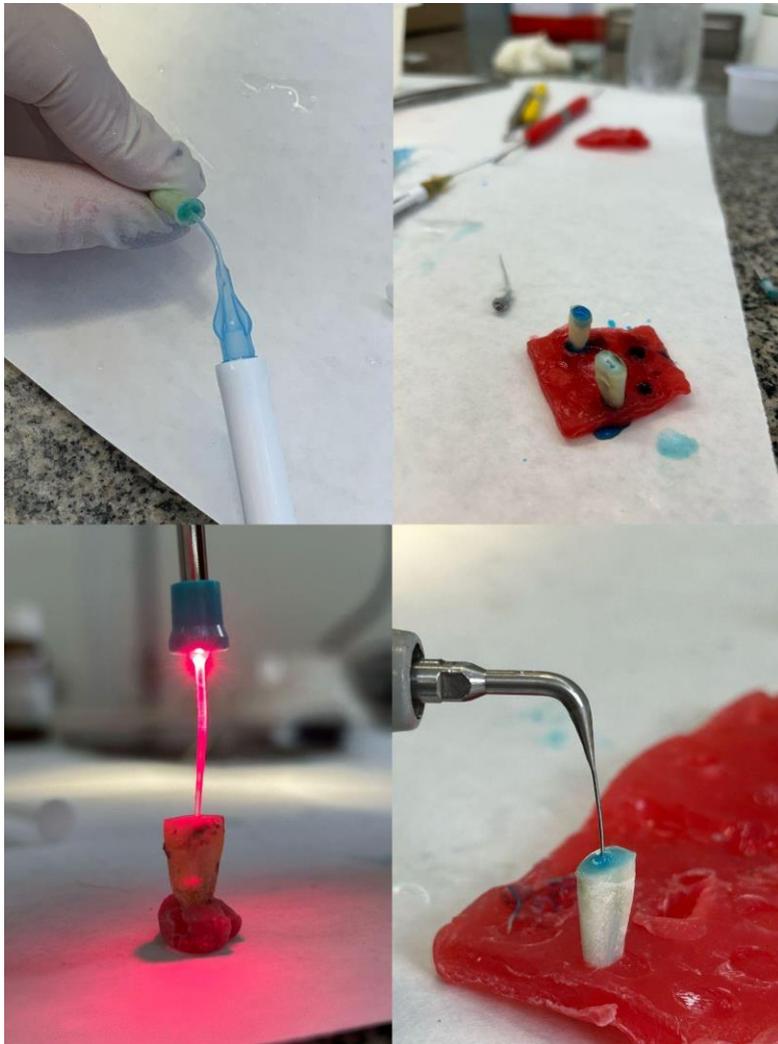


Figura 3. Aplicação do fotossensibilizador da PDT, ativação da PDT e ativação ultrassônica.

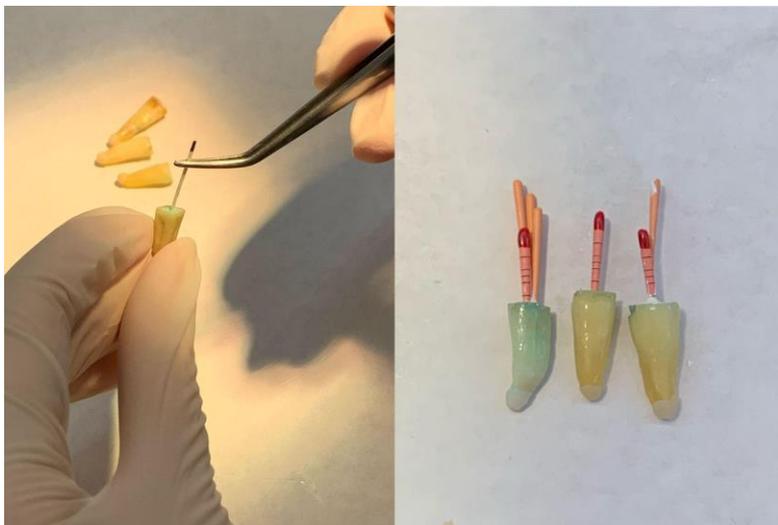


Figura 4. Obturação dos canais radiculares.



Figura 5. Cimentação dos pinos de fibra de vidro.

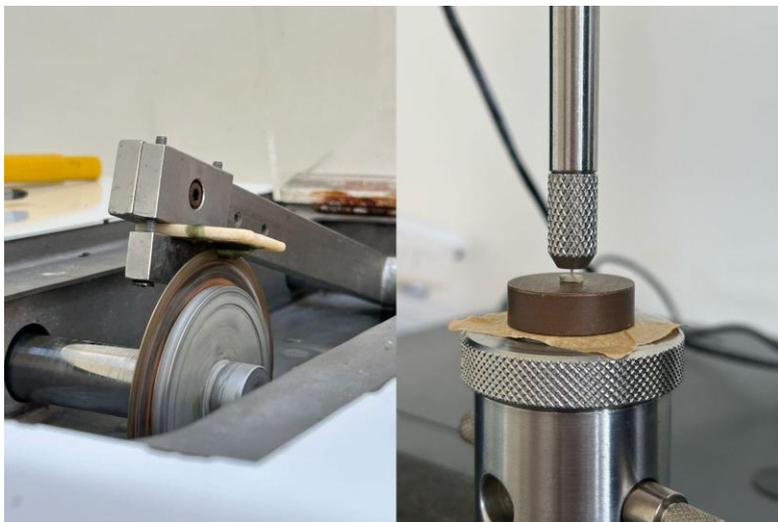


Figura 6. Corte dos discos em cortadeira metalográfica e teste de *push out*.



Figura 7. Análise microscópica dos padrões de falha.

**Influence of ultrasonic activation of the photosensitizer
in photodynamic therapy on the bond strength of a
bioceramic sealer and fiber posts cemented with self-
adhesive cement**

Matheus Albino Souza¹, Alexia Trento¹, Vitor Hugo Sanches Menchik¹, Anna Vithoria da Costa Longhi¹, Bianca de Ávia Bratz¹, Maria Eduarda Klaesner¹, Marianna Demarchi¹, João Paulo De Carli¹, Yuri Dal Bello¹.

¹School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.

Corresponding Author: Matheus Albino Souza

Post-Graduate Program in Dentistry, University of Passo Fundo, BR 285/São José, Building A7, Suite 2, Zip code: 99052-900, Passo Fundo-RS-Brazil.

Telephone: +55 54 3316-8402.

E-mail: matheus292@yahoo.com.br or matheussouza@upf.br

ABSTRACT

Aim: This study aimed to evaluate, *in vitro*, the influence of ultrasonic activation (US) of the photosensitizer in photodynamic therapy (PDT) on the bond strength of the root dentin to the obturating/restorative material. **Methods:** Sixty extracted human single-rooted teeth were used in this study. After coronal sectioning, 30 roots were used to assess the bond strength of the obturating material, and 30 roots were used to evaluate the bond strength of the restorative material. In each evaluation, after complete chemomechanical preparation, the roots were randomly divided into three groups (n=10) according to the PDT and US protocol as follows: G1 (negative control) – distilled water; G2 – conventional PDT; G3 – PDT+US. After the respective protocols, the roots were filled with gutta-percha and the bioceramic sealer Bio-C Sealer in the first evaluation and with fiber posts cemented using the self-adhesive cement Rely-X U200 in the second evaluation. To assess bond strength in both evaluations, the roots were sectioned to obtain 1 mm thick dentin discs containing the obturating/restorative material, and the push-out test was performed. Failure patterns were observed under an optical microscope. Specific statistical analysis was conducted in both evaluations ($\alpha = 5\%$). **Results:** In both evaluations, bond strength was significantly lower in groups 2 (PDT) and 3 (PDT+US)

compared to the control group ($p < 0.05$), with no statistically significant difference between them ($p > 0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was found among the tested groups ($p > 0.05$), with a predominance of cohesive failure in all groups. **Conclusion:** US of the PDT photosensitizer did not influence the bond strength of gutta-percha + bioceramic sealer and fiber posts + self-adhesive cement to root dentin when compared to conventional PDT without US of the photosensitizer.

Keywords: ultrasonic activation, self-adhesive cement, bioceramic sealer, fiber post, photodynamic therapy, bond strength.

Introduction

The neutralization of microorganisms within the root canal system is the primary goal of endodontic treatment (Du et al., 2012). However, conventional chemomechanical preparation alone is insufficient to achieve this objective (Chinoforush et al., 2016). In this context, photodynamic therapy emerges as an adjunctive approach to optimize the decontamination process. This therapeutic modality involves an oxidative reaction produced by the interaction between a photosensitizing agent and a low-intensity light source (De Araújo et al., 2022).

However, the activation of low-power laser on the photosensitizer promotes the formation of a chemical smear layer, which may compromise the bond strength of the obturating and restorative material to the root dentin (Souza et al., 2019a; Souza et al., 2019b). Therefore, the proper removal of this chemical smear layer is of fundamental importance for the successful completion of endodontic treatment.

Another commonly used resource in endodontic therapy is ultrasonic activation, which induces the principle of hydrodynamic turbulence within the root canal. This mechanism increases temperature and hydrostatic pressure, generating waves that facilitate smear layer removal through continuous irrigation with the ultrasonic device (Souza et al., 2017). According to Ghinzelli et al. (2014), ultrasonic activation of the photosensitizer enhanced

the decontamination potential of photodynamic therapy within root canals infected with *Enterococcus faecalis*. However, due to its high viscosity, ultrasonic activation of the photosensitizer may increase its impregnation into the root dentin, further compromising the adhesion of the obturating and restorative material.

Given this issue, the use of effective final irrigation protocols is essential for the proper removal of the photodynamic therapy photosensitizer. As previously described, ultrasonic activation of the photosensitizer can be suggested as part of the photodynamic therapy protocol, as it has the potential to enhance the antimicrobial capacity of this therapeutic approach (Ghinzelli et al., 2014). Implementing this protocol creates favorable conditions for root canal obturation and subsequent restoration of the endodontically treated tooth.

More recently, the use of bioceramic endodontic sealers in Endodontics has gained prominence, aiming to improve the quality of obturation and the three-dimensional sealing of the root canal. These sealers exhibit bioactivity, inducing stable chemical bonds with dentin through the deposition of mineralized tissue in the form of hydroxyapatite (Carvalho et al., 2017).

On the other hand, considering the need for restoring endodontically treated teeth, the cementation of fiber posts with self-adhesive resin cement has been recommended to rehabilitate

both the aesthetics and masticatory function of the dental element. Self-adhesive resin cements can adhere to dental structures without prior etching or adhesive application, involving only a single clinical step, making them easy to handle and apply (De Souza Ferreira et al., 2012). The acidic monomers in self-adhesive resin cement demineralize and infiltrate the dental substrate, providing micromechanical retention. Simultaneously, the reaction between the phosphoric acid monomers in the cement and the hydroxyapatite of the dental substrate may offer chemical retention (Pisani-Proença et al., 2011).

However, no studies in the literature have demonstrated the actual impact of ultrasonic activation of the PDT photosensitizer on the bond strength of bioceramic sealers and fiber posts cemented with self-adhesive resin cements, justifying the need for the present study. Thus, the objective of this study is to evaluate the influence of ultrasonic activation of the PDT photosensitizer on the bond strength of the obturating/restorative material to root dentin.

Materials and methods

This study was submitted for review by the Research Ethics Committee of the University of Passo Fundo (UPF).

Sample Collection and Preparation

Sixty extracted single-rooted human teeth were used in this study, obtained from the Biobank of the UPF School of Dentistry. The coronal portion was sectioned at the cemento-enamel junction so that the remaining root had a length of 15 mm. A diamond disc (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil) attached to a low-speed straight handpiece was used for the cut, under constant cooling.

All roots were prepared using the same protocol to remove pulp tissue and standardize the canal diameter. The working length was established by inserting a size 10 K-file into the root canal until its tip was visible at the apical foramen. From this measurement, 1 mm was subtracted to set the working length. Next, the apical foramen was sealed with light-curing resin Opallis (FGM, Joinville, SC, Brazil) to prevent leakage of test substances during the experiment. The external impermeabilization of the roots was performed through two applications of cyanoacrylate-based adhesive (SuperBonder – Henkel, São Paulo, SP, Brazil).

Root canal enlargement was performed using the ProTaper rotary system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) in the sequence of S1, S2, F1, F2, and F3 files. All instruments were used at the working length, with a speed of 250 rpm and torque of 2 N, pre-programmed in the X-Smart Plus motor (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). Distilled water (Decloquimis, São Paulo, SP, Brazil) was used as an auxiliary chemical during root canal

instrumentation, renewed with each instrument change. After instrumentation, a final rinse was performed with 3 mL of 17% EDTA (Iodontosul, Porto Alegre, RS, Brazil) for 3 minutes to remove the smear layer. Then, a final irrigation with 5 mL of sterile distilled water and aspiration with a suction cannula was performed.

Of the 60 obtained and prepared roots, 30 were used for evaluating the bond strength of the root canal filling material, and 30 for evaluating the bond strength of the restorative material. For the 30 roots used to evaluate the bond strength of the restorative material, after chemo-mechanical preparation with the ProTaper rotary system, the coronal and middle thirds of the root canals were enlarged using Gates Glidden burs no. 2, 3, and 4, to a depth of 10 mm, providing adequate space for fiber post cementation. Gates Glidden burs were used in a low-speed handpiece driven by an electric micromotor at a constant rotation speed of 10,000 rpm, in a crown-apex direction, using a gentle pecking motion. The root canals were then irrigated with 3 mL of 17% EDTA (Iodontosul, Porto Alegre, RS, Brazil) for 3 minutes to remove the smear layer. Then, a final irrigation with 5 mL of sterile distilled water and aspiration with a suction cannula was performed.

Photodynamic Therapy Protocol

In each evaluation, the 30 roots were divided into 3 groups (n=10) according to the photodynamic therapy protocol used, as follows:

Group 1 (negative control) – distilled water: Root canals were filled with distilled water (Natupharma, Passo Fundo, RS, Brazil) using a 5 mL disposable syringe and a hypodermic needle (20 x 5.5 mm) until overflow at the canal entrance. The irrigant solution remained in contact with the root canal walls for 5 minutes. Then, irrigation with 5 mL of distilled water and aspiration with a suction cannula was performed.

Group 2 – Conventional PDT: Root canals were filled with 0.01% methylene blue (Chimiolux – DMC, São Carlos, SP, Brazil) until overflow and left for 5 minutes (pre-irradiation time). Then, a sterilized intracanal optical fiber was coupled to a low-intensity laser device (X-Therapy, DMC, São Carlos, SP, Brazil) and inserted 2 mm short of the working length. Root canals were irradiated for 90 seconds using 100 mW power, 660-690 nm wavelength, and 9 J dose, according to the manufacturer's instructions. After PDT, final irrigation with 5 mL of distilled water and aspiration with a suction cannula was performed.

Group 3 – PDT + US: The same photodynamic therapy protocol described for Group 2 was followed in this treatment group. The only difference was that, in the last minute of pre-

irradiation time, ultrasonic activation of 0.01% methylene blue was performed. Ultrasonic activation was performed using an ultrasonic device (Soniclax BP Led, Schuster Equipamentos Odontológicos, Santa Maria, RS, Brazil). A stainless steel E1 Irrisonic ultrasonic insert (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brazil) was inserted 1 mm short of the working length and activated for 1 minute. Power scale 2 for endodontics (20% power) was used for ultrasonic activation. After the PDT + US protocol, final irrigation with 5 mL of distilled water and aspiration with a suction cannula was performed.

Evaluation of Bond Strength of Root Canal Filling Material

Thirty roots were used for this evaluation. After photodynamic therapy, the 10 roots of each group were filled with Bio-C Sealer bioceramic cement (Angelus, Londrina, PR, Brazil), F3 gutta-percha cone from the ProTaper rotary system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), and accessory gutta-percha cones (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brazil). The lateral condensation technique was performed for root canal filling. Bio-C Sealer was applied along the entire length of the F3 gutta-percha master cone, calibrated to the working length and positioned inside the root canal. Then, an additional application of cement was performed, and the cone was repositioned. Accessory cones were inserted

using a size "B" finger spreader (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) until the spreader no longer penetrated more than five millimeters inside the canal. The excess gutta-percha cones were cut using a Paiva condenser no. 2 (SS White Duflex, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) heated in a lamp flame, followed by cold vertical condensation with the same condenser.

After obturation, the first millimeter of each canal was sealed with provisional root canal filling cement (Villevie, Joinville, SC, Brazil) and stored for 21 days in an incubator at a constant temperature of 37°C and relative humidity.

Evaluation of Bond Strength of the Restorative Material

Thirty roots were used for this evaluation. After performing photodynamic therapy, fiberglass posts were cemented with self-adhesive cement inside the 10 roots of each group. The No. 1 fiberglass posts (GFP) (White Post – FGM, Joinville, SC, Brazil) were cleaned with 35% phosphoric acid for 30 seconds, rinsed for 30 seconds, and gently air-dried. The application of silane (3M ESPE – Campinas, SP, Brazil) on the posts was performed for 1 minute, followed by the application of Single-Bond adhesive (3M ESPE – Campinas, SP, Brazil) and light curing for 40 seconds using a halogen light source with a power of 600 mW/cm² (Optilux, Demetron Res. Corp, Danbury, CT, USA). The

dentin of the root canal was not conditioned. Subsequently, the self-adhesive cement Rely-X U200 (3M ESPE – Campinas, SP, Brazil) was injected using a Centryx syringe and Acudosse needle (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The fiberglass posts were coated with cement and positioned inside the root canal at a 10 mm depth, being held under digital pressure for 20 seconds. Excess cement was removed, and light curing was performed with a 600 mW/cm² halogen light source (Optilux) for 30 seconds on each surface (buccal, palatal, mesial, distal, and occlusal).

The roots were stored and sectioned in the same manner as described in the evaluation of the bond strength of the obturation material. Similarly, the push-out test and failure pattern analysis were performed.

Statistical Analysis

Normal distribution of results was confirmed using the Kolmogorov–Smirnov test ($p < 0.05$). Bond strength in both evaluations was analyzed using two-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test, allowing quantitative analysis of the data. The distribution of failure modes among groups was analyzed using the chi-square test, enabling a descriptive analysis. All tests were performed with a significance level of 5%. Data were analyzed using Stat Plus AnalystSoft Inc. version 6.0 (Vancouver, BC, Canada).

Results

The mean (standard deviation) of the bond strength of the obturation material to root dentin and the percentage of failure patterns after the tested protocols are presented in Table 1. According to the obtained results, bond strength was significantly lower in groups 2 (PDT) and 3 (PDT+US) compared to the control group ($p < 0.05$), with no statistically significant difference between them ($p > 0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was observed among the tested groups ($p > 0.05$), with a predominance of cohesive failure in all

Table 1. Mean (SD) of bond strength of filling material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW ^a	30	4.93 (1.19)	3.32	33.34	63.34
2. PDT ^b	30	2.80 (0.73)	0.00	30.00	70.00
3. PDT+US ^b	30	2.07 (0.86)	10.00	33.33	56.67

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$). ** DW, distilled water; PDT, photodynamic therapy; US, ultrasonic activation.

groups, followed by mixed failure and, lastly, adhesive failure.

The mean (standard deviation) of the bond strength of the restorative material to root dentin and the percentage of failure patterns after the tested protocols are expressed in Table 2. According to the results obtained, it can be observed that the bond

strength was significantly lower in groups 2 (PDT) and 3 (PDT+US) when compared to the control group ($p<0.05$), with no statistically significant difference between them ($p>0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was revealed among the tested groups ($p>0.05$), with cohesive failure predominating in all groups, followed by mixed failure, and finally adhesive failure.

Table 2. Mean (SD) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW ^a	30	4.62 (1.26)	6.67	19.99	73.34
2. PDT ^b	30	2.50 (0.28)	10.00	33.33	56.67
3. PDT+US ^b	30	2.77 (0.49)	13.34	39.99	46.67

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p<0.05$). ** DW, distilled water; PDT, photodynamic therapy; US, ultrasonic activation.

Discussion

Endodontics faces several challenges, particularly regarding the adhesion of restorative materials to the interior of the root canal, which can be compromised by moisture and the anatomical complexity of the dental structure (De Souza Ferreira et al., 2012). Additionally, the persistence of microorganisms, even after instrumentation and irrigation,

represents a significant barrier to the success of endodontic treatment (Ghinzelli et al., 2014). The microbial etiology of endodontic infections is strongly associated with the presence of *E. faecalis*, a bacterium resistant to conventional therapies and capable of forming organized biofilms that hinder its elimination (Du et al., 2012; Garcez et al., 2011).

With the advancement of endodontic instruments, the introduction of nickel-titanium rotary systems has provided greater flexibility and preservation of dentin structure, reducing canal preparation time and optimizing the cleaning of the endodontic space (Agarwal et al., 2019; Khurana et al., 2019). However, the reduced contact time of irrigating solutions may compromise their antimicrobial efficacy, requiring the use of auxiliary techniques, such as ultrasound (US), to enhance smear layer removal and improve irrigant penetration (Souza et al., 2019; Murugesan et al., 2022). In this context, photodynamic therapy (PDT) also emerges as an additional resource for decontamination (Garcez et al., 2011; Niavarzi et al., 2019).

PDT is an innovative antimicrobial method used as an adjuvant in endodontic treatment, particularly for the decontamination of infected root canals. Its mechanism of

action is based on the interaction of a photosensitizer, usually a dye such as methylene blue or toluidine blue, with a specific light source, such as a low-power laser or LED, in the presence of molecular oxygen. This interaction results in the generation of reactive oxygen species (ROS), such as singlet oxygen and free radicals, which cause irreversible damage to microbial cellular structures, including cell membranes, DNA, and proteins (Masuda et al., 2018; Niavarzi et al., 2019).

Studies such as those by Garcez et al. (2011) and Du et al. (2012) have demonstrated the antimicrobial efficacy of PDT in endodontic infections, particularly against *E. faecalis*. Da Silva et al. (2018), in a clinical and microbiological investigation, also showed that PDT, when combined with conventional endodontic treatment, significantly reduced the bacterial load, enhancing canal decontamination. Additionally, it has been demonstrated that the activation of the photosensitizer with ultrasonic techniques increases the depth of penetration and the efficacy of the antimicrobial protocol (Tennert et al., 2015; Souza et al., 2017).

However, the formation of a chemical smear layer resulting from the use of photosensitizer dyes in PDT has

been a concern regarding the adhesion of obturation materials and fiber posts. According to the study by Souza, Bischoff, and Pazinato (2017), the dye used in PDT can deposit on the dentin surface and form a residual layer after laser irradiation. This residue, often composed of photosensitizer dye fragments and byproducts of the photochemical interaction, may alter the chemical composition of dentin and affect the adhesion of restorative materials, interfering with the quality of the adhesive interface between root dentin and endodontic cements.

Souza et al. (2019a) demonstrated that the presence of residual dye can compromise the adhesion of endodontic cements and reduce the bond strength between root dentin and restorative materials due to the chemical modification of the dentin surface, which may affect the infiltration and polymerization of resin cements. Additionally, the effect of PDT on dentin moisture can also impact the stability of the adhesive interface, making it more susceptible to degradation over time.

To minimize these effects, auxiliary final irrigation protocols with irrigant activation have been suggested to remove dye residues and improve the adhesion of obturation

materials (Souza et al., 2019a). It has been demonstrated that the ultrasonic activation of irrigants, such as sodium hypochlorite and EDTA, enhances the elimination of the smear layer and bacterial biofilms, facilitating antimicrobial action and improving the final disinfection of the root canal (Niavarzi et al., 2019).

Ultrasound (US) is a technology based on the propagation of high-frequency sound waves in solid or liquid media, while in endodontics, US refers to the use of these waves to promote the movement and cavitation of irrigating solutions within the root canal system (Murugesan et al., 2022). Thus, US has been explored as a means to enhance the antimicrobial action of PDT (Ghinzelli et al., 2014), by improving the distribution of the photosensitizer dye within dentinal tubules and microbial biofilms, ensuring more homogeneous exposure to laser light and boosting the generation of reactive oxygen species (ROS) (Tennert et al., 2015). Additionally, US could help remove photosensitizer residues, preventing the formation of a chemical smear layer that interferes with the adhesion of obturation materials and fiber posts (Souza et al., 2017).

Bioceramic cements and self-adhesive cements are widely used for fiber post cementation and root canal obturation due to their adhesive and sealing properties (Carvalho et al., 2017). However, studies indicate that their bond strength can be affected by dentin moisture and the presence of endodontic irrigation residues, making an adequate root surface preparation protocol necessary before cementation (Prado et al., 2017).

The choice of these cements in the study is justified by the need to evaluate how PDT and US influence the adhesion of obturation materials and fiber posts. Since PDT can modify the chemical composition of dentin and generate photosensitizer dye residues, and US can alter dentin moisture and topography, it is essential to analyze the behavior of bioceramic and self-adhesive cements under these conditions. Furthermore, these cements represent the most commonly used options in contemporary endodontics, adding clinical relevance to the results obtained.

To evaluate the bond strength of endodontic cements and fiber posts to root dentin, the push-out test is one of the most commonly used methods in the literature. Through this test, Souza et al. (2019b) analyzed the bond strength of resin

cements in root canals treated with different irrigants and PDT, highlighting that residues from PDT can interfere with the adhesion of cementing materials. Khoroushi et al. (2019) also evaluated the effect of irrigants on the bonding of fiber posts, demonstrating that the chemical interaction between the irrigant and dentin can affect the final adhesive strength. Additionally, Machry et al. (2020) investigated the impact of different surface treatments on fiber posts, showing that the chemical modification of the dentin surface directly influences the adhesion of endodontic cements.

The lower bond strength values observed in the groups treated with PDT and PDT associated with US can be justified by the formation of a chemical smear layer resulting from the deposition of photosensitizer dye residues on the dentin surface. During PDT, the dye interacts with dentin and can adsorb onto the dentin structure, hindering the adhesion of cementing materials (Souza et al., 2017). This residual layer can act as a barrier, reducing the infiltration of endodontic cements into the dentinal tubules and compromising the adhesive interface.

The acoustic cavitation generated by US may not have fully removed this layer, only fragmenting part of the

chemical smear layer without exposing the underlying dentin, which does not favor the penetration of bioceramic and self-adhesive cements (Souza et al., 2017). With the adverse effects of PDT on adhesive strength already established due to the prior formation of the chemical smear layer, US did not worsen this condition. In other words, the presence of residual dye had already compromised the adhesive interface, and US only modified the existing chemical smear layer without completely removing it.

The findings of this study have clinically relevant implications for endodontic practice, especially regarding the efficacy of PDT and US on the bond strength of restorative materials. Additionally, it highlights the importance of efficiently removing the chemical smear layer generated by the dye used in PDT, as its presence can interfere with the adhesion of restorative materials. Future research is recommended to explore new irrigation protocols and chelating substances that can optimize the removal of the chemical smear layer without compromising the structural integrity of dentin (Souza et al., 2017). Another aspect that deserves investigation is the influence of different photosensitizers and US modes on the adhesion of restorative

materials, aiming to develop strategies that reconcile maximum antimicrobial efficacy with minimal interference in bond strength (Masuda et al., 2018; Souza et al., 2017).

Conclusion

In light of the limitations of this study, it can be concluded that the ultrasonic activation of the PDT photosensitizer did not influence the bond strength of the obturation material composed of gutta-percha and bioceramic cement, nor the bond strength of the restorative material composed of fiber posts cemented with self-adhesive cement to root dentin, when compared to conventional PDT without ultrasonic activation of the photosensitizer. However, the ultrasonic activation of the PDT photosensitizer decreased the bond strength of the obturation material composed of gutta-percha and bioceramic cement, as well as the restorative material composed of fiber posts cemented with self-adhesive cement to root dentin.

References

Alencar CM, Costa JLSG, Jassé FFA, Campos EA, Dantas AAR, Kuga MC. Evaluation of various methods of methylene blue removal from the post space after photodynamic therapy on the bonding interface using different resin cementation systems. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2021;34:102264. doi: 10.1016/j.pdpdt.2021.102264.

Agarwal S, Raghu R, Shetty A, Gautham PM, Souparnika DP. An *in vitro* comparative evaluation of the effect of three endodontic chelating agents (17% ethylenediamine tetraacetic acid, 1% peracetic acid, 0.2% chitosan) on the push out bond strength of gutta percha with a new bioceramic sealer (BioRoot RCS). *J Conserv Dent.* 2019;22(5):475-478. doi: 10.4103/JCD.JCD_90_20.

AlGhamdi AS, Alsalhi H, Almutairi N, Alotaibi B, Barakat AA, Khanam HK, ElGendy F, Alawfi AA. Push out bond strength of fiber post to radicular dentin using Q-mix, lemon/garlic extract, and riboflavin activated by photodynamic therapy as a final canal irrigant. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2023;27(9):3793-3798. doi: 10.26355/eurrev_202305_32284.

Al-Hiyasat AS, Alfirjani SA. The effect of obturation techniques on the push-out bond strength of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Dent.* 2019;89:103169. doi: 10.1016/j.jdent.2019.07.007.

Ashraf H, Asnaashari M, Darmiani S, Birang R. Smear Layer Removal in the Apical Third of Root Canals by Two Chelating Agents and Laser: A Comparative in vitro Study. *Iran Endod J.* 2014;9(3):210-214.

Asnaashari M, Ashraf H, Rahmati A, Amini N. A comparison between effect of photodynamic therapy by LED and calcium hydroxide therapy for root canal disinfection against *Enterococcus faecalis*: A randomized controlled trial. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2017;17:226-232. doi: 10.1016/j.pdpdt.2016.12.009.

Borsatto MC, Correa-Afonso AM, Lucisano MP, Bezerra da Silva RA, Paula-Silva FW, Nelson-Filho P, Bezerra da Silva LA. One-session root canal treatment with antimicrobial photodynamic therapy (aPDT): an in vivo study. *Int Endod J.* 2016;49(6):511-518. doi: 10.1111/iej.12486.

Carvalho Edos S, Mello I, Albergaria SJ, Habitante SM, Lage-Marques JL, Raldi DP. Effect of chemical substances in removing methylene blue after photodynamic therapy in root canal treatment. *Photomed Laser Surg.* 2011;29(8):559-563. doi: 10.1089/pho.2010.2922.

Carvalho CN, Grazziotin-Soares R, de Miranda Candeiro GT, Gallego Martinez L, de Souza JP, Santos Oliveira P, Bauer J, Gavini G. Micro Push-out Bond Strength and Bioactivity Analysis of a Bioceramic Root Canal Sealer. *Iran Endod J.* 2017;12(3):343-348. doi: 10.22037/iej.v12i3.16091.

Chiniforush N, Pourhajibagher M, Shahabi S, Kosarieh E, Bahador A. Can Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) Enhance the Endodontic Treatment? *J Lasers Med Sci.* 2016;7(2):76-85. doi: 10.15171/jlms.2016.14.

da Silva CC, Chaves Júnior SP, Pereira GLD, Fontes KBFDC, Antunes LAA, Póvoa HCC, Antunes LS, Iorio NLPP. Antimicrobial Photodynamic Therapy Associated with Conventional Endodontic Treatment: A Clinical and Molecular Microbiological Study. *Photochem Photobiol.* 2018;94(2):351-356. doi: 10.1111/php.12869.

de Araújo LP, da Rosa WLO, Gobbo LB, da Silva TA, de Almeida JFA, Ferraz CCR. Global research trends on photodynamic therapy in endodontics: A bibliometric analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2022;40:103039. doi: 10.1016/j.pdpdt.2022.103039.

De Souza Ferreira R, Andreiuolo RF, Motal CS, Cervante Dias KRH, De Miranda MS. Adhesive cementation of fiber reinforced posts. *Rev Bras Odontol.* 2012;69(2).

Dias KC, Soares CJ, Steier L, Versiani MA, Rached-Júnior FJ, Pécora JD, Silva-Sousa YT, de Sousa-Neto MD. Influence of drying protocol with isopropyl alcohol on the bond strength of resin-based sealers to the root dentin. *J Endod.* 2014;40(9):1454-1458. doi: 10.1016/j.joen.2014.02.021.

Du T, Ma J, Yang P, Xiong Z, Lu X, Cao Y. Evaluation of antibacterial effects by atmospheric pressure nonequilibrium plasmas against *Enterococcus faecalis* biofilms in vitro. *J Endod.* 2012;38(4):545-549. doi: 10.1016/j.joen.2011.10.021.

Garcez AS, Ribeiro MS, Tegos GP, Núñez SC, Jorge AO, Hamblin MR. Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection. *Lasers Surg Med.* 2007;39(1):59-66. doi: 10.1002/lsm.20415.

Ghinzelli GC, Souza MA, Cecchin D, Farina AP, de Figueiredo JA. Influence of ultrasonic activation on photodynamic therapy over root canal system infected with *Enterococcus faecalis*--an in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2014;11(4):472-478. doi: 10.1016/j.pdpdt.2014.07.004.

Gündoğar M, Sezgin GP, Erkan E, Özyılmaz ÖY. The influence of the irrigant QMix on the push-out bond strength of a bioceramic endodontic sealer. *Eur Oral Res.* 2018;52(2):64-68. doi: 10.26650/eor.2018.446.

Hendi SS, Shiri M, Poormoradi B, Alikhani MY, Afshar S, Farmani A. Antibacterial Effects of a 940 nm Diode Laser With/ Without Silver Nanoparticles Against *Enterococcus faecalis*. *J Lasers Med Sci.* 2021;12:e73. doi: 10.34172/jlms.2021.73.

Khoroushi M, Najafabadi MA, Feiz A. Effects of Calcium Hypochlorite and Sodium Hypochlorite, as Root Canal Irrigants, on the Bond Strength of Glass Fiber Posts Cemented with Self-Adhesive Resin Cement. *Front Dent.* 2019;16(3):214-223. doi: 10.18502/fid.v16i3.1593. E

Khurana N, Chourasia HR, Singh G, Mansoori K, Nigam AS, Jangra B. Effect of Drying Protocols on the Bond Strength of Bioceramic, MTA and Resin-based Sealer Obturated Teeth. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2019;12(1):33-36. doi: 10.5005/jp-journals-10005-1589.

Kourtis E, Papadopoulou-Pantelidou O, Tolidis K, Angelopoulos C, Strakas D. Laser applications in smear layer removal from posterior root canals: A comparative study. *J Conserv Dent.* 2022;25(3):283-287. doi: 10.4103/jcd.jcd_519_21.

Machry RV, Fontana PE, Bohrer TC, Valandro LF, Kaizer OB. Effect of Different Surface Treatments of Resin Relined Fiber Posts Cemented With Self-adhesive Resin Cement on Push-out and Microtensile Bond Strength Tests. *Oper Dent.* 2020;45(4):E185-E195. doi: 10.2341/19-108-L.

Masuda Y, Sakagami H, Horiike M, Kadokura H, Yamasaki T, Klokkevold PR, Takei HH, Yokose S. Photodynamic Therapy with Pyoktanin Blue and Diode Laser for Elimination of *Enterococcus faecalis*. In Vivo. 2018;32(4):707-712. doi: 10.21873/invivo.11298.

de Miranda RG, Colombo APV. Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial. Clin Oral Investig. 2018;22(4):1751-1761. doi: 10.1007/s00784-017-2270-4.

Mohammad A, Ballullaya SV, Thumu J, Maroli S, Shankarappa P. Effect of ultrasonic activation of photosensitizer dye temoporfin (Foscan) on antimicrobial photodynamic therapy: An *ex vivo* study. J Conserv Dent. 2017;20(6):419-423. doi: 10.4103/JCD.JCD_221_17.

Murugesan K, Vishwanath S, Kadandale S, Thanikachalam Y, Parthasarathy R, Ilango S. Comparative Evaluation of Smear Layer Removal in Apical Third Using Four Different Irrigants With Ultrasonic Agitation: An In Vitro Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis. Cureus. 2022;14(3):e23142. doi: 10.7759/cureus.23142.

Niavarzi S, Pourhajibagher M, Khedmat S, Ghabraei S, Chiniforush N, Bahador A. Effect of ultrasonic activation on the efficacy of antimicrobial photodynamic therapy: Evaluation of penetration depth of photosensitizer and elimination of *Enterococcus faecalis* biofilms. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2019;27:362-366. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.06.001.

Özlek E, Neelakantan P, Matinlinna JP, Belli S, Ugur M, Kavut I. Adhesion of Two New Glass Fiber Post Systems Cemented with Self-Adhesive Resin Cements. *Dent J (Basel).* 2019;7(3):80. doi: 10.3390/dj7030080.

Pisani-Proença J, Erhardt MC, Amaral R, Valandro LF, Bottino MA, Del Castillo-Salmerón R. Influence of different surface conditioning protocols on microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. *J Prosthet Dent.* 2011;105(4):227-235. doi: 10.1016/S0022-3913(11)60037-1.

Prado M, Marques JN, Pereira GD, da Silva EM, Simão RA. Evaluation of different surface treatments on fiber post cemented with a self-adhesive system. *Mater Sci Eng C*

Mater Biol Appl. 2017;77:257-262. doi: 10.1016/j.msec.2017.03.141.

Ramalho KM, Cunha SR, Mayer-Santos E, Eduardo CP, Freitas PM, Aranha ACC, Moura-Netto C. In vitro evaluation of methylene blue removal from root canal after Photodynamic Therapy. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2017;20:248-252. doi: 10.1016/j.pdpdt.2017.10.024.

Dos Santos LR, Lima DM, Carvalho EM, Rodrigues VP, Alves CMC. Effect of Glass Fiber Post Surface Treatment on Bond Strength of a Self-Adhesive Resin Cement: An "In Vitro" Study. Int J Dent. 2021;2021:8856657. doi: 10.1155/2021/8856657.

Souza MA, Pazinato B, Bischoff KF, Palhano HS, Cecchin D, de Figueiredo JAP. Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2017;17:216-220. doi: 10.1016/j.pdpdt.2016.12.011.

Souza MA, Padilha Rauber MG, Zuchi N, Bonacina LV, Ricci R, Dias CT, Bischoff KF, Engelmann JL, Palhano HS.

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.* 2019;26:137-141. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.03.013.

Souza MA, Bonacina LV, Ricci R, Padilha Rauber MG, Zuchi N, Hoffmann IP, Bischoff KF, Engelmann JL, Palhano HS, 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.* 2019;26:224-228. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.04.007.

Souza MA, Trentini BM, Parizotto TF, Vanin GN, da Silva Piuco L, Ricci R, Bischoff KF, Dias CT, Pecho OE, Bervian J, Cecchin D. Influence of a glycolic acid-based final irrigant for photosensitizer removal of photodynamic therapy on the microhardness and colour change of the dentin structure. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2021;33:102151. doi: 10.1016/j.pdpdt.2020.102151.

Ramalho KM, Cunha SR, Mayer-Santos E, Eduardo CP, Freitas PM, Aranha ACC, Moura-Netto C. In vitro evaluation of methylene blue removal from root canal after Photodynamic Therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2017;20:248-252. doi: 10.1016/j.pdpdt.2017.10.024.

Razmi H, Bolhari B, Karamzadeh Dashti N, Fazlyab M. The Effect of Canal Dryness on Bond Strength of Bioceramic and Epoxy-resin Sealers after Irrigation with Sodium Hypochlorite or Chlorhexidine. *Iran Endod J.* 2016;11(2):129-133. doi: 10.7508/iej.2016.02.011.

ennert C, Drews AM, Walther V, Altenburger MJ, Karygianni L, Wrbas KT, Hellwig E, Al-Ahmad A. Ultrasonic activation and chemical modification of photosensitizers enhances the effects of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* root-canal isolates. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2015;12(2):244-251. doi: 10.1016/j.pdpdt.2015.02.002.

Widbiller M, Rosendahl A, Schlichting R, Schuller C, Lingl B, Hiller KA, Buchalla W, Galler KM. Impact of Endodontic Irrigant Activation on Smear Layer Removal and Surface Disintegration of Root Canal Dentine In Vitro. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(3):376. doi: 10.3390/healthcare11030376.