

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Vítor Hugo Sanches Menchik

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE IRRIGAÇÃO
FINAL PARA REMOÇÃO DO FOTOSSENSITIZADOR DA
TERAPIA FOTODINÂMICA ATIVADO COM ULTRASSOM NA
RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE CIMENTO BIOCERÂMICO E
PINOS DE FIBRA DE VIDRO CIMENTADOS COM CIMENTO
RESINOSO AUTOADESIVO**

Passo Fundo

2025

Vítor Hugo Sanches Menchik

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE IRRIGAÇÃO
FINAL PARA REMOÇÃO DO FOTOSSENSITIZADOR DA TERAPIA
FOTODINÂMICA ATIVADO COM ULTRASSOM NA RESISTÊNCIA
DE UNIÃO DE CIMENTO BIOCERÂMICO E PINOS DE FIBRA DE
VIDRO CIMENTADOS COM CIMENTO RESINOSO AUTOADESIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade de Passo Fundo, 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 Secretaria para manter a correta
numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Vítor Hugo Sanches Menchik

Nascido em 30 de janeiro de 1993, na cidade de Guarani das Missões/RS, o autor deste trabalho é cirurgião-dentista, formado pela Universidade de Passo Fundo (UPF) em 11 de agosto de 2018. Durante o período de graduação, desenvolveu um trabalho de conclusão de curso intitulado como “Influência da ativação ultrassônica sobre irrigantes finais na resistência de união de um cimento resinoso à dentina radicular”, sob orientação do Prof. Dr. Matheus Albino Souza, tendo participado também, do grupo de pesquisa na área de Endodontia. Alcançou o seu título de Especialista em Endodontia pela Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 29 de janeiro de 2022. Também realizou cursos em outras áreas de Odontologia clínica, em busca de mais conhecimento e aperfeiçoamento teórico e prático.

Após 5 anos da graduação em Odontologia, teve a oportunidade de regressar à UPF, agora no Mestrado, tendo sido uma experiência muito enriquecedora. Com a certeza de que essa profissão que tanto lhe fascina, motiva e desafia ser um pouco melhor a cada dia, buscando a evolução e aprendizado constante, seja na vida pessoal, como também na profissional. Atualmente, realiza em consultório privado, atendimentos referentes à terapia endodôntica e odontologia clínica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela minha vida e por me ajudar a encarar e ultrapassar todos os desafios ao longo do período do curso. Aos meus pais, Waldemar Menchik Júnior e Maria Cinara Sanches Menchik, esteios mestres da minha educação, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade, fornecendo respaldo, incentivo e suporte de sempre. À minha noiva, por todo amor e companheirismo, compreendendo a minha ausência durante alguns momentos enquanto realizava estes dois anos de mestrado. Agradeço também a Ranieri Copetti, amigo e sócio no consultório odontológico na cidade de Santo Ângelo – RS. Obrigado por terem despertado em mim a busca pelo conhecimento e evolução constante, sem vocês nada disso teria sido possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Albino Souza, por todo o apoio incondicional e oportunidades que me proporcionou durante minha jornada acadêmica, confiando em meu trabalho e me ensinando tanto sobre a Endodontia desde a graduação até o mestrado. Agradeço pela amizade e situações que pude vivenciar na docência e prática endodôntica, ao longo de estágios e cursos. Quero um dia conseguir ser pelo menos um pouco do profissional que és e espero poder retribuir o tanto que fizestes por mim nesses anos. Serei eternamente grato pelo apoio e confiança. A sua dedicação, persistência e responsabilidade são qualidades que tornaram minha jornada pessoal, acadêmica e profissional, experiências inesquecíveis.

Aos meus colegas de Mestrado, com os quais dividi diversos momentos, que compartilharam seus conhecimentos sobre a odontologia e também sobre a vida, e que me ensinaram tanto nesses últimos dois anos. Agradeço sempre por ter conhecido cada um de vocês e todos de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui. Uma turma excepcional, com pessoas muito competentes e que terão um futuro brilhante pela frente. Foi um prazer imenso dividir estes dois anos de mestrado com vocês, levarei todos sempre em meu coração e sentirei muita saudade.

À Universidade de Passo Fundo por me acolher novamente após 5 anos, agora na pós-graduação e fazer parte da minha rotina nos últimos dois anos, sendo responsável por grande parte da pessoa que me tornei. E em especial à Faculdade de Odontologia, agradeço a todos os colaboradores, funcionários, alunos e professores da instituição os quais tenho imenso apreço, sinto enorme gratidão e alegria por terem participado da minha trajetória.

À empresa Angelus (Londrina – PR / Brasil), pela disponibilização de diversos materiais utilizados. Satisfação imensa poder ter trabalhado com materiais de tamanha qualidade no âmbito endodôntico no desenvolvimento desse estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação, em nome do professor Álvaro Della Bona, pela disponibilidade de utilização da máquina de ensaios universal (Instron 23-10, série 2310-0008, São José dos Pinhais, PR, Brasil), a qual foi adquirida pelo projeto Universal-CNPq n. 474603/2013-4. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de uma bolsa de estudos, que me permitiu realizar a presente pesquisa e concluir o meu curso de mestrado.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR	5
AGRADECIMENTOS.....	6
SUMÁRIO.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Terapia Fotodinâmica em Endodontia.....	16
2.2 Remoção da smear layer e do fotossensitizador.....	19
2.3 Resistência de união de guta percha e cimento biocerâmico.....	23
2.4 Resistência de união de pinos de fibra de vidro e cimentado resinoso autoadesivo.....	25
3. PROPOSIÇÃO.....	29
4. MATERIAL E MÉTODO.....	30
5. RESULTADOS.....	41
6. DISCUSSÃO.....	43
7. CONCLUSÃO.....	46
8. REFERÊNCIAS.....	47
ARTIGO.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mean (standard deviation) of bond strength of filling material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested final irrigation protocols.....41

Tabela 2 - Mean (standard deviation) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested final irrigation protocols.....42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seleção de dentes unirradiculares.....	30
Figura 2 – Secção coronária	30
Figura 3 – Inserção de lima #10 e visualização apical.....	31
Figura 4 – Vedamento apical com resina composta.....	31
Figura 5 – Impermeabilização com cianoacrilato.....	31
Figura 6 – Motor X Smart Plus / Limas Protaper (Dentsply).....	31
Figura 7 – Preparo cervical com brocas Gates e de preparo p/ pino.....	32
Figura 8 – Azul de Metíleno (DMC).....	33
Figura 9 – Inserção intracanal do fotossensibilizador.....	33
Figuras 10 e 11 – PDT intracanal com fibra.....	33
Figura 12 - Ultrassom sendo aplicado no AM.....	33
Figura 13 - Irrigação intracanal.....	34
Figura 14 - Ultrassom nos irrigantes.....	34
Figura 15 – Bio-C Sealer (Angelus) (caixa).....	35
Figura 16 – Bio-C Sealer (Angelus) (seringa).....	35
Figura 17 – Selamento provisório da entrada do canal pós obturação	36
Figura 18 – Discos fixados na placa acrílica e seccionados.....	36
Figura 19 – Paquímetro digital.....	36
Figura 20 – Push out.....	36
Figura 21 – Emic.....	36
Figura 22 – Push out + EMIC.....	37
Figura 23 - Disco posicionado	37
Figura 24 – Pistão no centro do disco.....	37
Figura 25 – Análise dos padrões de falha.....	38
Figura 26 – Materiais utilizados.....	38
Figura 27 – Cimento resinoso U200 Automix.....	38
Figura 28 – Inserção do cimento resinoso.....	38
Figura 29 – Grand Valo (fotopolimerizador).....	39
Figura 30 – Extrusão material restaurador.....	39
Figura 31 – Extrusão pino de fibra de vidro.....	39
Figura 32 – Análise dos padrões de falha.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

PDT – Terapia Fotodinâmica

CHX – Clorexidina

AD – Água destilada

AG – Ácido Glicólico

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético

%- Porcentagem

h – Hora

min – Minuto

ml – Mililitro

mm – Milímetro

nm – Nanômetro

PUI – Irrigação ultrassônica passiva

US - Ultrasound

rpm – Rotações por minuto

AM – Azul de Metileno

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar, *in vitro*, a influência de diferentes protocolos de irrigação final para remoção do fotossensitizer da terapia fotodinâmica (PDT) ativado com ultrassom (US) na resistência de união de um cimento biocerâmico e pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso autoadesivo. Cem dentes anteriores unirradiculares humanos extraídos foram utilizados para o presente estudo. Após a secção coronária, 50 raízes foram utilizadas para a avaliação da resistência de união do material obturador e 50 raízes foram utilizadas para a avaliação da resistência de união do material restaurador. Em cada avaliação, após o preparo químico-mecânico completo, as raízes foram submetidas ao protocolo de PDT + US. Em seguida, as raízes foram divididas aleatoriamente em cinco grupos ($n=10$), de acordo com o protocolo de irrigação final: G1 – água destilada+US; G2 – EDTA 17%; G3 – GA 17%; G4 – EDTA 17% + US; G5 – GA 17% + US. Após os referidos protocolos, as raízes foram preenchidas com guta-percha e cimento biocerâmico Bio-C Sealer (Angelus) na primeira avaliação, e com pinos de fibra de vidro nº 0,5 (Angelus) cimentados com cimento resinoso autoadesivo Rely-X U200 na segunda avaliação. Para a avaliação da resistência de união, em ambas 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. Análise estatística específica será realizada em ambas avaliações ($\alpha = 5\%$). Os resultados mostraram que, em ambas as avaliações, a resistência de união foi significativamente maior nos grupos 4 (ETDA+US) e 5 (GA+US) quando comparados aos demais grupos ($p<0,05$), 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. Pode-se concluir que o uso da US sobre os irrigantes finais testados na remoção do fotossensitizer da PDT influenciou positivamente a resistência de união de um cimento biocerâmico e pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso autoadesivo.

Palavras-chave: ativação ultrassônica, cimento resinoso autoadesivo, cimento biocerâmico, irrigante final, pino de fibra de vidro, terapia fotodinâmica, resistência de união.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate, in vitro, the influence of different final irrigation protocols for removal of the photosensitizer of photodynamic therapy (PDT) activated with ultrasound (US) on the bond strength of bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement. One hundred extracted single-rooted human anterior teeth were used for the present study. After coronal sectioning, 50 roots were used to evaluate the bond strength of the filling material and 50 roots were used to evaluate the bond strength of the restorative material. In each evaluation, after complete chemical-mechanical preparation, the roots were subjected to the PDT + US protocol. Then, the roots were randomly divided into five groups ($n=10$), according to the final irrigation protocol: G1 – distilled water + US; G2 – EDTA 17%; G3 – GA 17%; G4 – EDTA 17% + US; G5 – GA 17% + US. After the aforementioned protocols, the roots were filled with gutta-percha and Bio-C Sealer bioceramic cement in the first evaluation, and with 0.5 glass fiber posts cemented with Rely-X U200 self-adhesive resin cement in the second evaluation. To evaluate the bond strength, in both evaluations, the roots were sectioned to obtain 1 mm thick dentin discs containing the filling/restorative material and the push-out test was performed. The failure patterns were observed under an optical microscope. Specific statistical analysis will be performed in both evaluations ($\alpha = 5\%$). The results showed that, in both evaluations, bond strength was significantly higher in groups 4 (ETDA+US) and 5 (GA+US) when compared to the other groups ($p<0.05$), with no statistically significant difference between them ($p>0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was revealed between the tested groups ($p>0.05$), with a predominance of cohesive failure. It can be concluded that the use of US over the tested final irrigants in the photosensitizer removal improved the bond strength of a bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement.

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

1. INTRODUÇÃO

A descontaminação e a neutralização dos micro-organismos presentes no sistema de canais radiculares são duas das principais intenções do tratamento endodôntico (Neves *et al.*, 2016). Ainda assim, é de ressaltar que somente o preparo químico-mecânico é insuficiente para a realização desta etapa (Chinoforush *et al.*, 2016), ainda mais em casos em que há a presença de microorganismos resistentes no interior dos canais radiculares e tecidos periapicais.

Por isso, uma alternativa que pode otimizar o processo de descontaminação, sendo uma possibilidade adicional ao tratamento endodôntico, é o uso de terapia fotodinâmica após o preparo químico-mecânico convencional, que visa à inativação dos micro-organismos por meio de uma reação oxidativa produzida pela irradiação de um agente fotossensibilizante não tóxico (De Araújo *et al.*, 2022). Acrescente-se que a PDT possui atributos que a tornam uma excelente ferramenta adicional de descontaminação bacteriana intracanal, sendo segura aos tecidos periradiculares humanos, apresentando capacidade de erradicar patógenos presentes em biofilmes, com facilidade na aplicação e indolor (Gursoy *et al.*, 2013). No entanto, o fotossensibilizador é uma substância viscosa que impregna a dentina de forma significativa e a ativação do laser de baixa potência sobre essa substância promove a formação de uma “*smear layer*” química (De Oliveira *et al.*, 2014), que pode induzir a microinfiltração e diminuir a resistência de ligação dos materiais obturadores e restauradores à dentina radicular (Souza *et al.*, 2019). Por conta disso, se dá a necessidade de adequada limpeza e descontaminação intracanal.

Por outro lado, a ação dos dispositivos ultrassônicos sobre substâncias químicas auxiliares e irrigantes finais, induz turbulência hidrodinâmica dentro do canal radicular, produzindo cavitação e bolhas que colidirão contra as paredes. Esses elementos aumentam a temperatura e a pressão hidrostática, produzindo “ondas” que auxiliam na remoção da camada de *smear layer*, por irrigação contínua com o aparelho ultrassônico (Souza *et al.*, 2017).

Quando associada a ativação ultrassônica ao fotossensibilizador, ocorre uma efetiva melhora à ação antimicrobiana da Terapia Fotodinâmica, fazendo com que o agente fotossensibilizador tenha acesso às áreas de complexidades anatômicas, onde podem estar alojados microorganismos ainda resistentes ao preparo químico mecânico (Ghinzelli *et al.*, 2014; Fantin *et al.*, 2022).

A existência de uma camada de *smear layer* pode bloquear os túbulos dentinários presentes no sistema de canais radiculares (Torabinejad *et al.*, 2003) e dificultar a penetração de irrigantes para eliminar os micro-organismos localizados em áreas de difícil acesso, como istmos e ramificações (Ali *et al.*, 2022; Ghinzelli *et al.*, 2014), ainda mais quando houver a ativação ultrassônica do fotossensibilizador.

Nesse sentido, o EDTA 17% é conhecido por ser o irrigante final mais difundido em Endodontia, possuindo ação quelante e boa capacidade na remoção da camada de *smear layer* (Barcellos *et al.*, 2020). No entanto, tal substância apresenta algumas características desfavoráveis, podendo induzir certa toxicidade aos tecidos periapicais. Além disso, tem baixa capacidade de redução bacteriana e promove desnaturação das fibras colágenas, assim como, modificação considerável na estrutura da dentina radicular (Souza *et al.*, 2021).

O ácido glicólico (AG), por sua vez, apresenta natureza orgânica e baixo peso molecular, mostrando qualidades e capacidade de ser utilizado em superfícies minerais, como estruturas dentais (Cecchin, 2018). Segundo estudos *in vivo* e *in vitro*, o AG revela capacidade de indução da síntese de colágeno e proliferação de fibroblastos (Berstein, 2001). Aliás, estudos indicam também que o AG apresentou menor toxicidade e igual capacidade da remoção da “*smear layer*”, quando comparado ao EDTA 17%, sem modificação na estrutura dentinária (Bello *et al.*, 2020).

Nessa linha, cabe assinalar que a ativação ultrassônica associada aos irrigante finais tem sido sugerida como forma de melhorar a eficiência da remoção da camada de “*smear layer*”, a qual promove a obliteração dos túbulos dentinários. De acordo com os resultados do estudo de Souza *et al.*, 2017, o uso do US melhorou a capacidade dos irrigantes EDTA 17% e do QMix em remover o fotossensibilizador das regiões cervical, média e apical do canal radicular após terapia fotodinâmica.

A terapia endodôntica bem-sucedida requer uma adequada desinfecção do sistema de canais radiculares e selamento hermético com materiais obturadores, como guta percha e selantes endodônticos (Hamdy *et al.*, 2024). Atualmente, selantes do canal radicular à base de resina são os mais comumente utilizados, apresentando propriedades adequadas como a bioatividade, alcalinidade, boa adaptação e resistência de união quando comparado a outros materiais. Todavia, não há ligação química entre a estrutura dentinária e o selante endodôntico (Dos Santos *et al.* 2021; Assmann *et al.*, 2012). Já os cimentos endodônticos biocerâmicos também apresentam bioatividade, possuindo ligações químicas estáveis com a dentina por deposição de hidroxiapatita (Carvalho *et al.*, 2015), estimulando a formação de tecido mineralizado. A biocompatibilidade e bioatividade dos cimentos endodônticos biocerâmicos se caracterizam principalmente na

sua interação com os tecidos circundantes (Dong, 2023), promovendo uma ligação química entre o selante endodôntico bioativo e a dentina (Hamdy, 2024).

Em vista disso, após a obturação dos canais radiculares, muitas vezes é necessária a reconstrução de dentes com destruição coronária extensa, sendo um fator desafiador na prática clínica (Souza *et al*, 2019). Pinos intrarradiculares de fibra de vidro são recomendados para reter uma restauração definitiva, pois, tem propriedades mecânicas semelhantes à estrutura dentária e podem minimizar a transferência do estresse mastigatório ao dente (Marchionatti *et al*, 2017).

Igualmente, o cimento a ser utilizado para adaptação e cimentação intracanal de um pino de fibra de vidro desempenha um papel significativo na resistência de união, porque o sucesso clínico a longo prazo depende, principalmente, da adesão entre a estrutura do dente e a superfície a ser colada, a fim de criar uma retenção micromecânica (Ling *et al*, 2022). Por conta disso, o emprego de cimentos resinosos autoadesivos que combinam a fotoativação e ativação química (dual) induz a polimerização mais efetiva, mesmo em áreas mais apicais, com difícil acesso de luz, o que garante um melhor grau de conversão dos monômeros (Clavijo , 2022; Skapska *et al*, 2022).

Contudo, não existem estudos na literatura que mostrem o real potencial da ativação ultrassônica dos irrigantes finais na remoção do fotossensitizador, o qual foi ativado com ultrassom, durante a PDT, com o objetivo de avaliar o seu impacto na resistência de união de cimentos biocerâmicos, e pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso autoadesivo, tornando justificável a realização do presente estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Terapia Fotodinâmica em Endodontia

Oliveira *et al.*, em 2014, revisaram a literatura odontológica sobre os principais fatores que abrangem o uso de PDT juntamente com tratamento endodôntico para descontaminação do sistema de canal radicular. Para o estudo usou dentes recém-extraídos com necrose pulpar para comparar a redução microbiana intracanal obtida por desbridamento quimiomecânico convencional usando apenas hipoclorito de sódio 6% ou adicionado ao PDT. O azul de metileno foi usado em uma concentração de 50 µg/mL e irradiação de laser diodo. Os resultados indicaram que o desbridamento quimiomecânico com PDT foi capaz de eliminar microrganismos em 86,5% dos canais, quando o PDT não foi usado a eliminação foi somente de 49%. Foi possível concluir que a PDT é uma ferramenta auxiliar para substâncias antimicrobianas usada no tratamento endodôntico, porém, apresenta diferentes desafios em relação à sua suscetibilidade a diferentes microrganismos.

Chiniforush *et al.*, em 2016, avaliaram relatos na literatura científica que usaram diferentes fotossensibilizantes para redução bacteriana. Foram selecionados 43 artigos, sendo 18 sobre o tema do azul de toluidina (TBO), 21 sobre o tema do azul de metileno (MB), 3 foram sobre curcumina, e 1 foi sobre verde indocianina (ICG). Os resultados mostram que a melhor abordagem é usar TBO e MB com concentrações abaixo de 100 µg/mL e um tempo de incubação de 1 a 5 minutos, com a ativação do laser por um período de tempo que depende principalmente da potência. Ao usar o ICG como PS 1mg/mL com ativação após 5min usando laser de diodo 808nm, a reação entre eles é mais um processo térmico do que químico, aumentando a morte bacteriana e para a curcumina, deve ser dissolvida em uma solução de dimetilsulfóxido a 0,5%, após isso a iluminação com um LED é ativada por 5 minutos, esse método rápido pode economizar tempo. Pode-se concluir que a PDT deve ser aplicada em combinação com o desbridamento mecânico convencional e irrigante para melhorar a redução do número de bactérias endodônticas.

Platino *et al.*, em 2018, avaliaram a terapia fotodinâmica (PDT) em campo endodôntico no que diz respeito ao seu mecanismo de ação, fotossensibilizantes e fontes de luz, limitações e procedimentos clínicos. O uso de PDT para o tratamento do canal

radicular foi testado para analisar a redução da carga bacteriana *in vivo*, bem como *in vitro* e mostrou resultados favoráveis. Na análise dos testes *in vitro*, concluiu-se que a PDT foi eficaz na diminuição do número de colônias de *E. facealis* de canais radiculares infectados, quando comparado aos protocolos tradicionais de instrumentação. Nos testes *in vivo*, relataram que reduziu significativamente a quantidade de bactérias endodônticas (incluindo *E. faecalis*) com PDT adjuvante em comparação com o tratamento convencional sozinho. Foi possível concluir que a terapia fotodinâmica é minimamente invasiva e mostrou ser um complemento ao tratamento convencional do canal radicular para combater microrganismos.

Haroom *et al.*, em 2020, desenvolveram uma compreensão do uso potencial de desinfecção ativada por luz (LAD) em endodontia e sugerir estratégias para maximizar os efeitos antibacterianos de desinfecção ativada por luz. A pesquisa foi realizada através de uma busca de dados (PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus e Cochrane), foram no total 303 estudos avaliados para parâmetros essenciais, que incluíram a origem, tipos/variações, metodologia e aplicação de desinfecção ativada por luz, juntamente com os potenciais fatores de risco relatados em estudos *in vitro* e *in vivo*, utilizando combinações de palavras. Após foram triados e selecionados um total de 80 artigos e complementados por uma busca manual de vários livros e artigos, um total de 7 artigos foram identificados. Como resultados, a LAD se mostrou eficaz contra a *Prevotella intermedia*, *Peptostreptococcus micros*, *Fusobacterium nucleatum*, *Porphyromonas spp.*, e *Actinomyces spp.* Portanto, a LAD é promissora para a desinfecção do canal radicular tendo eficácia contra a maioria das bactérias gram-positivas e gram-negativas, atingindo a célula bacteriana e impedindo a sua resistência.

Abdelkarim - Elafifi *et al.*, em 2021, descreveram as evidências da literatura até o momento sobre as vantagens, eficiência e resultados clínicos dessa terapia em endodontia como uma possível ferramenta para combater a resistência aos antibióticos. Uma pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados Web of Science (WOS) e PubMed em 2 etapas. Na primeira busca, os seguintes termos foram usados no WOS: ALL = (photodynamic therapy or photoquimitherapy or PDT or aPDT) AND ALL = (endodontics or “root canal therapy” or “root canal treatment”) e para PubMed: (“Endodontics” (MeSH)) e (“Fotoquimioterapia” (MeSH)). Foram selecionados estudos publicados nos anos de 2010 a 2021, na língua inglesa, estudos *in vitro* e *ex vivo* que compararam o efeito da TFD na endodontia com outras técnicas, estudos clínicos em dentição permanente com ápices maduros avaliando o efeito desinfetante da TFD em endodontia e artigos de revisão. Os resultados foram que cerca de 51 artigos foram incluídos para avaliação: 27 estudos laboratoriais, 14 revisões e 10 estudos clínicos, de

onde foram extraídos dados de estudos clínicos e distribuídos em tabelas. Portanto, o tratamento com PDT mostrou uma tendência promissora para eliminação bacteriana e também se mostrou eficaz na ruptura de biofilmes.

De Araújo *et al*, em 2022, investigaram métricas de publicações e tendências de pesquisa relacionadas a essa finalidade. Esse estudo foi realizado através de dois revisores cegos e independentes que pesquisaram sistematicamente cinco bases de dados eletrônicas até dezembro de 2021. Os parâmetros adquiridos foram analisados por meio de estatística descritiva e mapeamentos gráficos com o software VOSViewer. A revisão foi baseada e relatada de acordo com as recomendações do PRISMA 2020. Os resultados mostraram que as evidências disponíveis são baseadas em laboratório (74,5%) e os principais desfechos clínicos avaliados foram redução da carga microbiológica e dor pós-operatória. Portanto, segundo as pesquisas, devem se concentrar na descoberta de novos agentes fotossensibilizadores, na padronização de protocolos de fotoativação ideais e na realização de pesquisas mais orientadas para a clínica.

Lopes *et al.*, em 2022, sintetizaram um protocolo clínico para o uso de terapia fotodinâmica em endodontia em dentes permanentes. Avaliaram dez ensaios clínicos com aplicação da PDT no tratamento endodôntico, dos quais nove ensaios incluíram dentes permanentes e um incluiu dentes primários. Relataram uma variação nos parâmetros de dosimetria entre os estudos, com comprimentos de onda de 635 nm, 660 nm e 808 nm (laser de diodo) e valores de potência de saída de 40 mW, 60 mW, 100 mW e 220 mW sendo observados. Um dos estudos expôs os tecidos a uma luz LED em um comprimento de onda de 635 nm e 200 mW de potência de saída. Resultados mostram que uma combinação de aPDT e irrigadores antimicrobianos exerceu um efeito sinérgico e poderia ser considerada como uma alternativa aos métodos convencionais de desinfecção para infecções persistentes. Foi possível concluir que a PDT é uma alternativa positiva quando usado como uma técnica adjuvante da técnica endodontia convencional no controle bacteriano.

Ozkocak *et al.*, em 2022, avaliaram o efeito de corantes utilizados na terapia fotodinâmica (PDT) sobre as mudanças de cor de compósitos à base de resina (RBCs). Um total de 120 discos compostos foram feitos de RBCs microparticulados, nano híbridos e nanocerâmicos, e o sistema CIELab foi usado para avaliar as cores iniciais com um espectrofotômetro. Os fotossensibilizadores foram utilizados de acordo com o delineamento experimental: MB (azul de metileno), TB (azul de toluidina), ICG (indocianina verde) e controle (sem corante). As amostras foram irradiadas com um laser de diodo de 940 nm. Após a irradiação, os fotossensibilizadores foram removidos com água destilada ($\Delta E1$) e hipoclorito de sódio ($\Delta E2$) e as cores finais foram medidas.

Os dados foram analisados pelos testes ANOVA de três vias e Bonferroni ($\alpha=0,05$). Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre os grupos ICG e controle, já no TB e MB exibiram a coloração mais forte. Pode-se concluir que a intensidade de coloração das hemárias diferiu de acordo com o tipo de fotossensibilizador utilizado e o teor de resina composta, sendo assim o irrigante NaOCl foi eficaz na remoção da descoloração.

Strazzi-Sahyon *et al.*, em 2022, avaliaram in vitro a citotoxicidade das soluções de irrigação do canal radicular e a terapia fotodinâmica com curcumina PS na linhagem celular L-929. Células fibroblásticas saudáveis da pele de camundongo foram distribuídas em sete grupos experimentais: G1 – meio de cultura DMEM (grupo controle); G2 – 0,9% de cloreto de sódio; G3 – 2,5% de hipoclorito de sódio; G4 – 5% NaOCl; G5 – PDT com curcumina, os grupos experimentais que foram submetidos à ação PDT foram expostos ao LED azul por 4 min, com um comprimento de onda de 480 nm e fluência de energia de 75 J/cm², mantidas em condições padrões de cultura celular e a análise de viabilidade celular foi realizada usando o método colorimétrico para avaliar os períodos de 6, 24 e 48 h. Observou-se que o grupo NaOCl 2.5 exibiu maior viabilidade celular em 6 h em comparação com o período de 48 h, nos demais grupos não foram observadas diferenças significativas. Assim, foi possível concluir que o uso de PDT com curcumina PS a 1000 mg/L influenciou a viabilidade do fibroblasto.

2.2 Remoção da smear layer e do fotossensitizador

Dal Bello, *et al.*, em 2019 determinaram o tamanho da partícula de ácido glicólico (GA), o nível de pH e tensão superficial para caracterizar em pó e soluções, examinar os efeitos na desnaturação do colágeno e resistência à flexão da dentina mineralizada. Sessenta e cinco terceiros molares humanos extraídos não cariados foram selecionados para este estudo, as medidas de tamanho de partícula, tensão superficial e pH foram propostas para caracterizar GA, o pó foi analisado usando um Bettersizer SD Laser ParticleSize Analyzer (Kromtek Sdn Bhd, Malásia) para medir o tamanho de partícula, e EDS foi usado para caracterização elementar e química. As soluções foram obtidas a partir do teste pó, a tensão superficial foi testada usando o “método do anel” no tensiômetro, por fim o pH foi medido por 90 dias para determinar o nível e a estabilidade da solução. Como resultados, GA apresentou o maior tamanho de partículas em pó e apresentou um pH nas diferentes concentrações e temperaturas avaliadas. EDTA, CA e GA 10% e 17% apresentaram resultados semelhantes na resistência à flexão, enquanto a relação apatita/collágeno, houve diferença significativa entre eles. Foi possível concluir

que os efeitos na relação apatita/collágeno apresentados pelo GA são concentração-dependente, mas sua ação foi superficial sem alterações na dentina e resistência à flexão.

Dal Bello, et al., em 2019, determinaram o efeito do ácido glicólico na análise de microdureza, rugosidade e distribuição do conteúdo mineral da dentina, remoção da camada de esfregaço e citotoxicidade quando usado como irrigante final durante a preparação do canal radicular. Foram selecionados dentes extraídos humanos de raízes únicas mandibulares, baseado na dimensão, semelhança na morfologia, ausência de cárie, rachaduras e tratamento endodôntico, os tecidos moles foram limpos e todos os dentes foram armazenados em solução salina a 4 °C até mais testes. A menor microdureza e maior rugosidade foram observadas para 17% de GA, também mostrou a capacidade de remover a camada de esfregaço em um nível semelhante ao EDTA e ácido cítrico. Foi possível concluir que o GA é um ótimo agente endodôntico para irrigação final em terapias de canal radicular.

Barcellos, et al., em 2020, avaliaram os efeitos da irrigação com 17% de ácido glicólico GA usado com pH diferente (1,2 ou 5,0) em comparação com 17% de EDTA (pH neutro) em sua capacidade de remoção da camada de esfregaço dos canais radiculares. Um estudo *in vitro*, onde vinte dentes humanos caninos foram seccionados transversalmente abaixo da junção cemento esmalte, produzindo segmentos radiculares de 15 mm de comprimento. As raízes foram seccionadas longitudinalmente em duas, criando 40 espécimes dos segmentos bucal e lingual. Resultados mostraram que o GA possui a mesma capacidade de remover a camada de esfregaço e causar erosão da dentina que o EDTA, ambas as soluções não alteraram a distribuição do conteúdo mineral de dentina. A relação apatita/collágeno foi reduzida com toda a solução irrigante e foi a mais baixa com GA pH 5. Foi possível concluir que a solução GA é uma boa alternativa para a irrigação final da preparação do canal radicular.

Venkataraman, et al., em 2021, determinaram a eficácia do ácido glicólico (GA) na remoção de detritos e esfregaço quando usado uma solução final de enxágue em canais curvos. Foram preparados usando a instrumentação rotativa 58 primeiros molares permanentes mandibulares com 15°–30° de curvatura das raízes mesiais, o hipoclorito de sódio foi usado como solução de enxágue inicial (8 ml). As amostras foram divididas em grupos de controle (I - solução salina normal e II - 17% de EDTA) e experimentais ($n = 8$) com base no tipo de solução final de enxágue (5 ml) usada, ou seja, 2,5% GA, 5% GA, 10% GA, 17% GA, 37% GA e 10% CA, assim foram divididas bucolingualmente, desidratadas, revestidas com splutter e examinadas com microscópio eletrônico de varredura. Os resultados obtidos foram que a maior quantidade de detritos se encontra no terço apical, o grupo com 5% GA menor quantidade de esfregaço nos terços coronal,

médio e apical com valores médios em comparação com o II. Foi possível concluir que a solução de enxágue final de GA foi eficaz para a preparação biomecânica.

Zeid, *et al.*, em 2021, identificaram se os irrigadores naturais são melhores do que os irrigadores convencionais sintéticos para remoção de camadas de esfregaço, analisando a influência nas propriedades mecânicas e químicas da dentina radicular. Estudos *in vitro* que compararam o impacto de irrigadores naturais (extratos de frutas ou plantas) com irrigadores convencionais sintéticos na remoção da camada de esfregaço e seu efeito nas propriedades mecânicas e químicas da dentina radicular, incluindo microdureza, rugosidade, força, concentração/liberação de íons de cálcio. Como resultado, vinagres de maçã ou cidra maçã, extrato de semente de uva, 5–10% de ácido glicólico e 0,5–1% de ácido fítico efetivamente removeram a camada de esfregaço melhor ou semelhante aos agentes sintéticos convencionais. Foi possível concluir que os irrigadores naturais são mais eficazes na remoção da camada de esfregaço quando comparado com agentes sintéticos.

Darzé, *et al.*, em 2023, avaliaram a microdureza da superfície e a resistência de ligação para esmalte e dentina submetidos a tratamento com ácidos fosfórico, glicólico e ferúlico. Blocos de esmalte e dentina foram tratados com ácido fosfórico, glicólico e ferúlico, a microdureza da superfície foi avaliada antes e depois da gravação, e a resistência à ligação micro tênsil foi avaliada após a aplicação de um sistema adesivo de duas etapas. Resultados mostram uma diminuição nos valores de microdureza para ambos os substratos após a aplicação de cada ácido. Os ácidos fosfórico e glicólico levaram à desmineralização homogênea do esmalte e promoveram a abertura dos túbulos dentinários, enquanto o ácido ferúlico levou à desmineralização da superfície do esmalte e removeu parcialmente a camada de esfregaço. Por fim, foi possível concluir que o ácido glicólico possui um padrão de gravação e microdureza semelhante ao do ácido fosfórico, já o ácido ferúlico não forneceu força de ligação satisfatória aos substratos dentários.

Souza *et al.*, em 2017, avaliaram, *in vitro*, a influência da ativação ultrassônica (US) em 17% EDTA e QMix na remoção do fotossensibilizador das paredes do canal radicular após a terapia fotodinâmica. Utilizaram 60 dentes bovinos extraídos e obturados com azul de metíleno a 0,01% e submetidos à terapia fotodinâmica por 90 segundos. Em seguida, as raízes foram divididas em seis grupos ($n = 10$) de acordo com o protocolo final de irrigação: água destilada (AD), DW+ US, 17% EDTA, QMix, EDTA+ US e QMix + US, em seguida, as amostras foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura onde utilizaram um sistema de pontuação para avaliar as imagens e a eficácia dos tratamentos das regiões cervical, média e apical dos canais radiculares. Resultados mostram que US proporcionou melhores resultados com as substâncias testadas em todas as regiões da raiz

canal. 17% EDTA + US e QMix + US foram mais eficazes para remoção de fotossensibilizador nas regiões cervical, média e apical do canal. Também revelaram que não houve diferenças na análise intragrupo. Foi possível concluir que a ativação ultrassônica pode promover a remoção do fotossensibilizador usando 17% EDTA e QMix após a terapia fotodinâmica, contribuindo assim de forma significativa para a limpeza do sistema de canais radiculares.

Souza, et al., 2019, avaliaram in vitro, a influência do uso adicionado da ativação ultrassônica (US) com EDTA 17% e QMix, na resistência de união do material obturador radicular em dentina radicular previamente tratada com PDT. Cem canais radiculares foram preparados até a lima #F3 do sistema Pro-Taper para receber o material obturador radicular, todas as amostras foram submetidas à PDT e divididas aleatoriamente em cinco grupos ($n = 20$) de acordo com os protocolos finais de irrigação: Grupo 1-água destilada + ativação ultrassônica (US); Grupo 2–17% EDTA; Grupo 3-QMix; Grupo 4–17% EDTA + US; Grupo 5-QMix + US, cada grupo foi dividido aleatoriamente em dois subgrupos ($n = 10$), de acordo com o cimento endodôntico utilizado para cimentação dos pontos de guta-percha: AH Plus ou MTA Fillapex. Resultados mostraram altos valores de resistência de união na dentina radicular nos grupos que foram obturados com AH Plus. Fatores como a capacidade efetiva dos protocolos de irrigação final testados e a instrumentação adequada para promover a remoção da smear layer (composta de chips de dentina, soluções irrigantes, microrganismos e matéria orgânica) podem explicar esses achados. Assim, é possível concluir que uso de EDTA 17% e QMix, independentemente da associação com US, bem como o uso do cimento endodôntico AH Plus à base de resina epóxi melhoram a resistência de união do material obturador radicular em dentina radicular previamente tratada com PDT.

Souza, et al., em 2019, avaliaram a influência do uso de ativação ultrassônica (US) adicionado com EDTA 17% e QMix, na resistência de união das GFPs cimentadas com cimentos resinosos dual e autoadesivos em raízes dentina previamente tratada com PDT. Cem canais radiculares foram preparados até a broca #4 Gates Glidden para receber os GFPs. Todas as amostras foram submetidas à TFD, sendo aleatoriamente divididas em cinco grupos ($n = 20$) de acordo com o protocolo final de irrigação: água destilada + ativação ultrassônica [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. Resultados revelaram altos valores de resistência de união do material obturador à dentina radicular após a remoção do fotossensibilizador usando protocolos de irrigação final. Cimentos resinosos demonstram

maior penetração e intertravamento mecânico com a dentina radicular, proporcionando melhor adesão, por outro lado, houve ausência de smear layer por instrumentação composta por chips de dentina, soluções irrigadoras, microrganismos e matéria orgânica. Foi possível concluir que a smear layer química formada pelo fotossensibilizador foi mais passível de remoção. O uso de US sobre irrigantes finais melhorou a resistência de união de GFP cimentado com cimentos resinosos em dentina radicular previamente tratada com PDT, além disso, o tipo de cimento resinoso utilizado na cimentação GFP - duplo ou autoadesivo não influenciou na avaliação.

2.3 Resistência de união de guta-percha e cimento biocerâmico

Carvalho *et al.*, em 2017, avaliaram a bioatividade do EndoSequence Bioceramic Sealer (BC) Sealer e sua força de ligação micro push-out à dentina comparando com o selador AH-Plus (AH). Foi um estudo *in vitro*, onde 24 dentes pré-molares mandibulares humanos foram extraídos, instrumentados, as raízes cortadas em quatro fatias e os lúmens dos canais foram preenchidos com selantes e submetidos ao teste de micro push-out. Os resultados mostram que o AH- Plus teve valores médios de força de ligação mais altos (16,29 MPa) do que o selador BC (9,48 MPa), os dois grupos apresentaram baixa quantidade de falha adesiva. O SEM (varredura de raios) mostrou a presença de um precipitado mineral após 30 dias, a análise do EDS (microscopia eletrônica/análise de dispersão de energia) mostrou que esses precipitados têm alta proporção de Ca e a difração de raios X (XRD) apresentou picos de fases cristalinas de carbonato de cálcio compatíveis com a bioatividade. Foi possível concluir que a força de ligação do BC Sealer à dentina foi menor do que o AH-Plus, os dois apresentaram poucas falhas adesivas e o selante BC mostrou potencial de bioatividade.

Lobo *et al.*, em 2021, avaliaram a força de ligação push-out de seladores de biocerâmicos pré-misturados e líquidos em pó com e sem guta-percha (GP). Foram preparadas amostras de dentina radicular de 80 dentes humanos com raiz única, após a preparação e irrigação, os dentes foram divididos de acordo com o selador do canal radicular ($n = 20$): AH Plus®, EndoSequence® BC Sealer™, ProRoot® Endo Sealer e BioRoot™ RCS. As amostras foram divididas aleatoriamente em dois subgrupos ($n = 10$): GP-S: preenchimento do canal radicular usando a técnica de cone único, ou S: preenchimento apenas com selante, mantidas a 37°C e 100% de umidade em PBS livre de cálcio por 30 dias. Como resultado obteve-se a força de ligação push-out maior para amostras obturadas apenas com selantes (S), o BioRoot™ RCS apresentou maior resistência à ligação do que o EndoSequence® BC Sealer™. Falhas adesivas entre o

cimento e o cone de guta-percha foram predominantes no GP-S e falhas coesivas foram predominantes para S. Por fim, foi possível concluir que o teste push-out sem cone de guta-percha apresenta maior resistência de ligação para selantes de biocerâmica.

Bogari *et al.*, em 2022, avaliaram o efeito biológico e mecânico de diferentes métodos de irrigação, na força de ligação do selador BC à dentina do canal radicular. Foram selecionados quarenta e cinco dentes de raiz única e descoronados, depois preparados usando instrumentação rotativa, assim, os dentes foram divididos em três grupos, grupo 1: usando o método convencional de seringa; grupo 2: usando o método de ativação ultrassônica (EUA); e grupo 3: usando o método de ativação a laser Nd: YAG. A resistência à ligação foi avaliada usando o teste push-out, e a adaptação da interface selante/dentina foi avaliada usando o Microscópio Eletrônico de Varredura (SEM). Os valores de força de ligação push-out do grupo laser Nd:YAG foram mais significativos do que os grupos convencionais e dos EUA. As lacunas médias que foram formadas entre as paredes da raiz e a interface do selador GP/BS foram significativas apenas entre o grupo laser Nd:YAG em comparação com os outros, também, nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os grupos convencional e dos EUA em ambos os parâmetros. Pode-se concluir que o método de irrigação durante o tratamento de canal afeta a adesão e a resistência de ligação dos selantes biocerâmicos às paredes da dentina do canal radicular.

Veeramachaneni *et al.*, em 2022, avaliaram a influência de diferentes soluções finais de irrigação na força de ligação push-out do selador Bio C (selador hidráulico à base de silicato tricálcico pré-misturado) e do selador Dia-Proseal (selante à base de resina epóxi). Selecionaram cem dentes humanos de raiz única extraídos por razões ortodônticas ou periodontais e divididos em 2 grupos, grupo A: Bio C e grupo B: Dia-Proseal e assim subdividido em cinco subgrupos de acordo com o protocolo de irrigação final: grupo A1 e B1 - 5% de ácido glicólico (GA), grupo A2 e B2 - 17% GA, grupo A3 e B3 - 0,2% quitosana, grupo A4 e B4 - 17% de EDTA, as amostras foram obturadas em combinação com um dos selantes mencionados e foram deixadas por 1 semana e submetidas ao teste push-out. Como resultado, teve o selador Bio C com GA como irrigante final com maior resistência à ligação. Porém, ambos os seladores mostraram grandes forças de ligação após o tratamento com GA. Assim, foi possível concluir que a maior força de ligação foi observada com o selante Bio C após o tratamento com GA, sem diferença significativa entre 5% e 17% de GA.

Escobar *et al.*, em 2023, investigaram a influência do curativo intracanal baseado em compostos biocerâmicos no canal para um bom preenchimento radicular, avaliando a qualidade da interface adesiva, a capacidade de preenchimento e sua penetração. Após a

preparação do canal, os espécimes foram distribuídos de acordo com a medicação intracanal ($n = 26$): Bio-C Temp (BCT) e Ultracal XS (UXS). As raízes foram digitalizadas em microCT e, após 7 dias, a medicação foi removida. Em seguida, uma nova varredura foi realizada para avaliar o volume de medicação restante. Após isso, 40 espécimes foram redistribuídos em 2 subgrupos ($n = 10$) e preenchidos de acordo com o selante usado: AH Plus (AHP) e Bio-C Sealer (BCS), para avaliar a força de ligação usando o teste push-out e a interface adesiva por microscopia de fluorescência a laser confocal (CLSM) e microscopia eletrônica. Resultados mostram um restante menor de BCT em comparação com o UXS, independentemente do terço raiz avaliado, a nova medicação intracanal baseada em compostos biocerâmicos na resistência à ligação (BS), mostrou que os dentes com BCT + BCS tinham valores de força de ligação mais altos quando comparados aos outros grupos: BCT + AHP, UXS + BCS e UXS + AHP. O terço cervical teve maior BS quando comparado com os terços médio e apical e maior número de falhas adesivas. Foi possível concluir que a BS interagiu quimicamente com o selador de canal radicular à base de biocerâmica, o que ajudou no aumento da resistência de ligação e na formação de uma interface adesiva entre os materiais, sem ou menos formação de lacunas.

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

Mazo *et al.*, em 2022, avaliaram a influência da terapia fotodinâmica (PDT), diferentes irrigantes finais e ativação ultrassônica (US) na resistência de união de pinos de fibra de vidro (GFP) à dentina radicular. Foram divididas 120 raízes bovinas em 12 grupos de acordo com a aplicação da TFD, tipo de irrigante endodôntico final e US. As amostras foram divididas em 12 grupos ($n = 10$): G1-DW (água destilada); G2-DW+US; G3-17% EDTA; G4-17% EDTA+US; G5-17% GA (ácido glicólico); G6-17% GA+EUA; G7-PDT+DW; G8-PDT+DW+US; G9-PDT+17% EDTA; G10-PDT+17% EDTA+US; G11-PDT+17% GA; G12-PDT+17% GA+EUA. Após, as raízes foram seccionadas em fatias de 2 mm de espessura. Um corte do terço cervical e do terço médio foram utilizados para o teste de push out (PO) e os outros dois para o teste de compressão diametral (DC). Assim, foram obtidas 10 amostras por terço para cada ensaio mecânico ($n = 10$). Os resultados apontam que houve diferenças estatísticas entre os grupos ($p < 0,001$; poder = 1,00). PDT atingiu maiores valores de resistência de união quando combinado a irrigação EDTA. A TFD associada ao US e apenas ao US resultou em valores mais altos de resistência de união quando o GA foi usado como irrigante endodôntico final. Conclui-se

então que a PDT forneceu os maiores valores de resistência de união de GFP à dentina radicular quando associada com GA e US ou quando associada apenas com EDTA.

Souza *et al.*, em 2023, avaliaram a eficácia da ativação ultrassônica (US) sobre o ácido glicólico na microdureza, resistência coesiva, resistência à flexão e resistência à fratura da dentina radicular, comparando com protocolos convencionais de irrigação final. Foram obtidas amostras de 140 dentes bovinos extraídos e distribuídas em quatro grupos de teste: microdureza (50 dentes), resistência coesiva (15 dentes), resistência à flexão (15 dentes) e resistência à fratura (60 dentes). Foram divididos em 4 grupos, os espécimes foram subdivididos em cinco grupos, de acordo com os protocolos finais de irrigação: G1: água destilada (AD); G2: ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 17%; G3: ácido glicólico (GA) 17%; G4: 17% EDTA + US; e G5: 17% GA + US. Cada protocolo teve 1 minuto de duração. Após os protocolos de irrigação, o testador Vickers foi usado para avaliar a microdureza e a máquina de teste universal foi usada para avaliar a resistência coesiva, resistência à flexão e resistência à fratura da dentina radicular. Os resultados foram obtidos de maneira que os grupos G2- EDTA, G4- EDTA+US e G5- GA+US, promoveram maior redução de microdureza. Já os dados de resistência coesiva, resistência à flexão e resistência à fratura não obtiveram nenhuma diferença entre os grupos. Dessa forma, a associação de GA e US resulta em redução da microdureza, sem influência na resistência coesiva, resistência à flexão e resistência à fratura da dentina radicular.

Skupien *et al.*, em 2015, identificaram fatores que podem afetar a retenção de pinos de fibra de vidro à dentina intra-radicular com base em *em vitro* estudos que compararam a resistência de união (BS) de GFPs cimentados com cimentos resinosos. Os bancos de dados PubMed e Scopus foram pesquisados para identificarem estudos que avaliaram e compararam a retenção (valores de resistência de união em MPa) de GFPs cimentados em canais radiculares de dentes humanos ou bovinos usando cimentos de resina regulares e autoadesivos. A estratégia de busca incluiu o seguinte: (pino de fibra de vidro) e (cimento resinoso) e (resistência de união); (pino de fibra de vidro) e (push out); (auto* cimento resinoso) e (pino de fibra de vidro) e (resistência de união); (fibra de vidro) e (ligação* OU adesivos*). Dois revisores independentes examinaram os títulos e a seleção para inclusão foi seguida por avaliação abstrata, estatística descritiva foi usada para descrever as variáveis de acordo com os estudos incluídos. Em relação aos resultados, 35 estudos foram extraídos, onde um artigo tinha dois conjuntos de dados diferentes, não apresentou diferença entre os cimentos resinosos ($p = 0,379$) e os agentes adesivos ($p = 0,068$). Conclui-se que o método de aplicação do cimento e pós-tratamento endodôntico são fatores que podem afetar a retenção de pinos de fibra de vidro nos canais radiculares,

especialmente quando cimentados com cimento resinoso comum, já os cimentos resinosos autoadesivos tiveram menor vulnerabilidade à técnica de cimentação em comparação com os cimentos resinosos comuns.

De Lima *et al.*, em 2016, avaliaram a resistência de união de cimentos universais curados duplamente ou apenas quimicamente. Foram avaliados três cimentos com diferentes tipos de aplicação: duplamente ativado (DA) ou quimicamente ativado (CA), no total foram utilizados 80 blocos de dentina, os blocos de restauração indireta foram projetados com resina composta Filtek Z350 (3M ESPE). Os dentes foram divididos em dois grupos (DA e CA) e então subdivididos em quatro subgrupos ($n= 10$) antes da cimentação com os respectivos produtos: Duo-Link (Bisco); RelyX Ultimate (3M ESPE); Nexus 3 (Kerr) e RelyX ARC convencional (3M ESPE) como controle. A cimentação no grupo DA foi aplicada seguindo as instruções do fabricante. O grupo CA foi cimentado em câmara escura para evitar a exposição à luz, foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas e submetidos ao teste push-out. Os maiores resultados de resistência por união foram obtidos para os cimentos universais fotoativados. É possível concluir que os cimentos resinosos universais duplamente ativados apresentam um resultado satisfatório, já os quimicamente ativados são insatisfatórios para garantir resistência de união aceitável.

Boing *et al.*, em 2017, avaliaram a influência de duas técnicas de polimerização no grau de conversão (DC) de cimentos resinosos e na resistência de união (BS) de pinos de fibra em diferentes regiões da dentina radicular. O tratamento endodôntico e a preparação do espaço para pinos foram realizados em vinte pré-molares individuais. As raízes foram divididas aleatoriamente em dois grupos ($n = 10$) de acordo com o modo de ativação do cimento resinoso RelyX™ U200 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA): convencional (modo de ativação contínua) e modo de ativação suave (rampa). De acordo com os resultados observados, não foi apresentada nenhuma alteração no modo de ativação e nem nas regiões radiculares afetaram a colagem dentária do cimento resinoso, sua maior resistência de união foi obtida no grupo soft-start ($p=0,036$); e o menor foi observada no terço apical em relação às demais regiões radiculares ($p<0,001$). Independentemente do modo de ativação e região da raiz, o modo de falha mista foi o mais prevalente. Conclui-se que a resistência de união de pinos de fibra aos canais radiculares pode ser melhorada pela polimerização soft-start e o grau de conversão não foi afetado pelo modo de cura do cimento resinoso.

Pereira *et al.*, em 2019 avaliaram a resistência de união de pinos de fibra de vidro cimentados com diferentes cimentos resinosos. Setenta caninos humanos recém-extraídos, saudáveis foram selecionados e armazenados em soro fisiológico 0,9% com

timol 1% à temperatura ambiente, removidas as coroas, preparados e assim realizado tratamento endodôntico. Após o procedimento de remoção da obturação, as raízes foram divididas em sete grupos: (G1) RelyXMTARC (3M ESPE, EUA), (G2) Enforce (Dentsply, Suíça), (3) BisCemMT(Bisco, EUA), (G4) Duo-LinkMT(Bisco, EUA), (G5) Cement Post (Angelus, Brasil), (G6) Variolink II (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) e (G7) RelyXMTU200 (3M ESPE, EUA). Após a cimentação dos pinos, os espécimes foram seccionados ao eixo da raiz, totalizando 340 espécimes. Os valores de força obtidos no teste de push-out foram submetidos à ANOVA de dois fatores e ao teste de Tukey ($p = 0,05$). Entre cada troca de instrumental, a irrigação foi realizada com solução de hipoclorito de sódio 1% e EDTA 17%. Os cimentos resinosos foram preparados e os pinos de fibra de vidro foram cimentados seguindo as instruções do fabricante. O pino também foi coberto com cimento e inserido no canal radicular. Os resultados mostraram que os cimentos resinosos autoadesivos representam uma alternativa confiável para a cimentação intrarradicular de pinos e maior resistência de união na porção apical em relação aos demais terços. Os cimentos resinosos autoadesivos possuem melhor resistência de união quando comparados com outros cimentos convencionais, os cimentos convencionais apresentam boa capacidade de aderência adesiva na região cervical.

Fantin *et al.*, em 2022 avaliaram a resistência de união e a adaptação interna de pinos de fibra de vidro customizados utilizando resinas compostas fluidas (BF) Bulk Fill e resina composta convencional. Foram utilizados 50 dentes bovinos, divididos aleatoriamente ($n=10$) em 5 grupos: G1- pinos de fibra de vidro foram adaptados ao canal radicular e cimentados com cimento Rely-X ARC (3M® ESPE); G2- pinos de fibra menores que o diâmetro do canal radicular foram personalizados usando resina composta convencional Filtek™ Z350 XT (3M® ESPE) e cimentados com o mesmo cimento do G1; G3- pinos foram personalizados com resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent AG); G4- os pinos foram personalizados com Filtek™ Bulk Fill Flow (3M® ESPE)) e G5- os pinos foram personalizados com o fluxo SureFil SDRTM (DENTSPLY), respectivamente, os espécimes foram submetidos ao teste push-out e avaliação da adaptação interna por meio de microscopia óptica. Em seus resultados não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em nenhuma das avaliações. Dessa forma, os pinos de fibra de vidro customizados usando diferentes compósitos bulk fill flow não afetaram a resistência de união e adaptação interna do pino, apresentando resultados semelhantes aos pinos de fibra de vidro customizados usando compósito convencional ou pinos sem customização prévia.

3. PROPOSIÇÃO

Objetivos gerais

Avaliar a influência de diferentes protocolos de irrigação final para remoção do fotossensitizer da terapia fotodinâmica ativado com ultrassom na resistência de união de cimento biocerâmico e pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso auto-adesivo.

Objetivos específicos

- Avaliar, *in vitro*, a influência da associação de EDTA 17% e GA 17% com US para remoção do fotossensitizer da terapia fotodinâmica ativado com ultrassom 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 associação de EDTA 17% e GA 17% com US para remoção do fotossensitizer da terapia fotodinâmica ativado com ultrassom na resistência de união do material restaurador, composto por pino de fibra de vidro e cimento resinoso auto-adesivo Rely-X U200, à dentina radicular, por meio de teste *push-out* em máquina de ensaio universal;

- A hipótese testada é de que ativação ultrassônica dos irrigantes finais testados na remoção do fotossensitizer da terapia fotodinâmica aumenta a resistência de união do material obturador/restaurador à dentina radicular.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Passo Fundo (Passo Fundo, RS, Brasil).

4.1 Obtenção e preparo das amostras

Cem dentes humanos anteriores unirradiculares extraídos foram utilizados no presente estudo (figura 1), sendo obtidos a partir do Biobanco do Curso de Odontologia da Universidade de Passo Fundo (Passo Fundo, RS, Brasil). 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 refrigeração (figura 2).



Fig 1: Seleção dos dentes

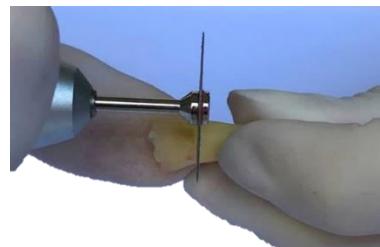


Fig 2: Secção das coroas

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 seja visualizada no forame apical (figura 3). A partir desta medida, foi reduzido 1mm, estabelecendo o comprimento de trabalho. Na sequência, foi realizado o vedamento do forame apical com resina fotopolimerizável Opallis (FGM, Joinville, SC, Brasil), para evitar o extravasamento das substâncias testadas durante o experimento (figura 4). Foi realizada também a impermeabilização externa das raízes, através de duas aplicações de adesivo à base de cianoacrilato (SuperBonder – Henkel, São Paulo, SP, Brasil) com auxílio de microaplicador Aplik (Angelus) (figura 5).



Fig 3:Patênci lima #10

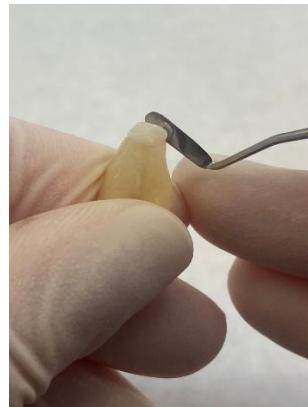


Fig 4: RC no ápice



Fig 5: Impermeab. cianoacrilato

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) (figura 6).



Fig 6: Motor X Smart Plus / Limas Protaper

A substância química auxiliar utilizada durante a instrumentação das raízes será água destilada, a qual foi 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 intracanal.

Das 100 raízes obtidas e preparadas, 50 foram utilizadas para a avaliação da resistência de união do material obturador e 50 para a avaliação da resistência de união do material restaurador. Nas 50 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 cervical e médio com brocas de preparo para pino 0,5 (Angelus) a uma profundidade de 10 mm, para proporcionar espaço adequado para cimentação dos pinos de fibra de vidro (figura 7). As pontas de preparo (Angelus) foram utilizadas em uma peça de contra ângulo em 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% (Natupharma – Passo Fundo), 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.



Fig 7: Prep cervical

4.2 Protocolo de terapia fotodinâmica

Todas as 100 raízes foram submetidas ao protocolo de terapia fotodinâmica associado ao uso do ultrassom. Os canais radiculares foram preenchidos com azul de metileno 0,01% (Chimiolux – DMC, São Carlos, SP, Brazil) (figuras 8 e 9) até o extravasamento, permanecendo em repouso por 5 minutos (tempo de pré-irradiação).

No último minuto do tempo de pré-irradiação, foi realizada a ativação ultrassônica do azul de metileno 0,01% (figura 9). A ativação ultrassônica 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) foi inserido 1 mm aquém do comprimento de trabalho e

ativado por 1 min (3x de 20 segundos). A escala de potência 2 para endodontia (20% de potência) será utilizada para promover a ativação ultrassônica. (figura 12)

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 (figuras 10 e 11). Depois do protocolo PDT + US, foi realizada a irrigação final com 5 ml de água destilada e aspiração com cânula de sucção.



Fig 8: AM 0,12%



Fig 9: AM intracanal



Fig 10: PDT



Fig 11: PDT



Fig 12: US no AM

4.3 Protocolos de irrigação final

Após a realização do protocolo de terapia fotodinâmica, as 50 raízes, de cada avaliação, foram divididas aleatoriamente em cinco grupos ($n=10$), de acordo com o protocolo de irrigação final, como segue:

- G1 - (controle negativo) – água destilada
- G2 - (controle negativo) – água destilada + US
- G3 - EDTA 17%
- G4 - GA 17%
- G5 - EDTA 17% + US
- G6 - GA + US

Nos grupos sem US, a solução foi injetada nos canais radiculares com seringa de 5 mL e agulha hipodérmica (20x5,5mm) até atingir a entrada do canal, permanecendo por 1 minuto (figura 13). Nos grupos com US, a solução foi aplicada seguido da ativação US (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) foi inserido 1 mm aquém do comprimento de trabalho e ativado por 1 min (3x 20 segundos) (figura 14). A escala de potência 2 para endodontia (20% de potência) foi utilizada para promover a ativação ultrassônica. Depois do protocolo de remoção do fotossensitizador, foi realizada irrigação final com 5 ml de água destilada e aspiração com cânula de sucção.



Fig 13: Irrigação

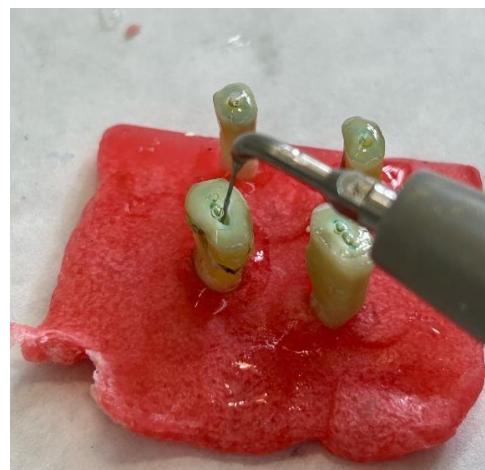


Fig 14: Ativação Ultrassônica

4.4 Avaliação da resistência de união do material obturador

Cinquenta raízes foram utilizadas para esta avaliação. Após a realização dos protocolos de irrigação final, as 10 raízes de cada grupo foram secas com pontas de papel absorvente e posteriormente obturadas com o cimento biocerâmico Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brasil) (figuras 15 e 16), 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 utilizada para a obturação dos canais radiculares. O cimento Bio-C Sealer (Angelus) foi aplicado em toda extensão do canal radicular com auxílio de uma ponteira intracanal e em seguida, a adaptação do cone de guta percha, que foi previamente calibrado, inserido 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 penetrasse 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.



Fig 15: Cimento biocerâmico (Angelus)



Fig 16: Bio – C Sealer

Depois de obturadas, as raízes tiveram o primeiro milímetro de cada canal selado com cimento obturador provisório (Villevie, Joinville, SC, Brasil) (figura 17) e, em seguida, foram 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) (figura 18) e posicionadas em uma cortadeira metalográfica. Foram realizadas secções horizontais nas raízes, sendo descartado o primeiro disco e obtidos três discos subsequentes de aproximados 1 mm de espessura de cada raiz (figura 19), totalizando 30

discos por grupo ($n=3 \times 10=30$) contendo dentina + material obturador (Fig 20). Estes discos foram submetidos ao teste de *push-out* por meio de uma máquina de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil).

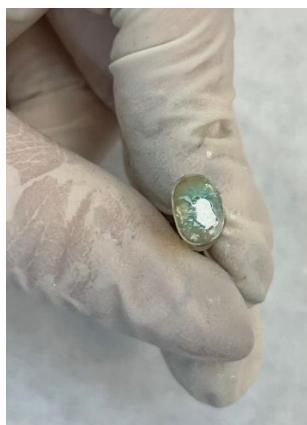


Fig 17: Sel. provisório



Fig 18: Discos seccionados



Fig 19: Paquímetro digital



Fig 20: Push Out

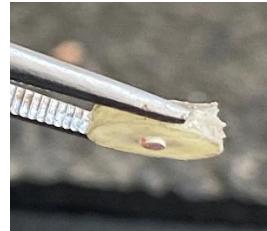


Fig 21: Emic

No 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 de dentina. O pistão metálico estava conectado a uma célula de carga de 2000N, que estava conectada à máquina de ensaios universal (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) (figura 21). 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.

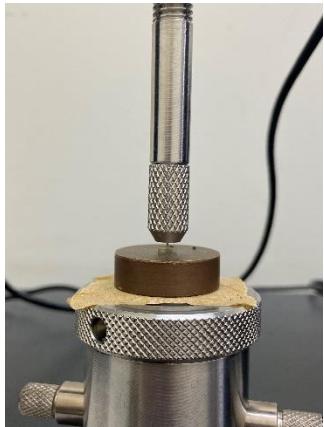


Fig 22: EMIC com disco



Fig 23: Disco posicionado

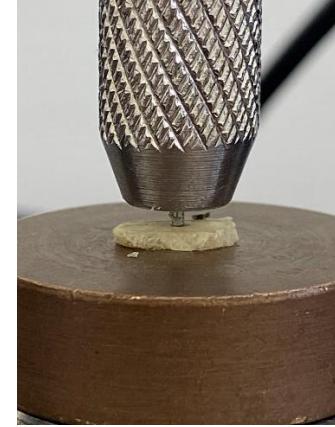


Fig 24: Pistão no centro do disco

Após a realização dos testes de *push-out*, os discos de dentina foram observados individualmente no microscópio óptico (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 (figura 25). 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 newtons (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.



Fig 25: análise dos padrões de falha no microscópio

4.5 Avaliação da resistência de união do material restaurador

Cinquenta raízes foram utilizadas para esta avaliação. Após a realização dos protocolos de irrigação final, pinos de fibra de vidro foram cimentados com cimento resinoso auto-adesivo no interior das 10 raízes de cada grupo. Os pinos de fibra de vidro nº 0,5 (GFP - Exacto) (Angelus – Londrina, PR, Brasil) foram condicionados com ácido fosfórico 35% (Angelus) por 30s, enxaguados por 30s e secos suavemente ao ar. A aplicação do silano (Angelus – Londrina, PR, Brasil) nos pinos foi realizada por 1 min, seguida da aplicação do adesivo Scotchbond (Adper 3M) e fotopolimerização por 20s com VALO Cordless que utiliza diodos emissores de luz (LED) personalizados, de amplo espectro para produzir luz de alta intensidade entre 395 e 480nm. A dentina do canal radicular não foi condicionada. Posteriormente, foi injetado cimento resinoso autoadesivo Rely-X U200 Automix (3M ESPE – Campinas, SP, Brasil) com ponteiras misturadoras para inserção intracanal. Os pinos de fibra de vidro foram posicionados dentro do canal radicular a 10 mm de profundidade, sendo mantido sob pressão digital por 20s. O excesso de cimento resinoso foi removido, sendo polimerizado com fotopolimerizador VALO Cordless por 20s em cada face (vestibular, palatina, mesial, distal e oclusal).



Fig 26: Materiais utilizados



Fig 27: U200 Automix



Fig 28: Inserção cim. resinoso



Fig 29: Grand Valo

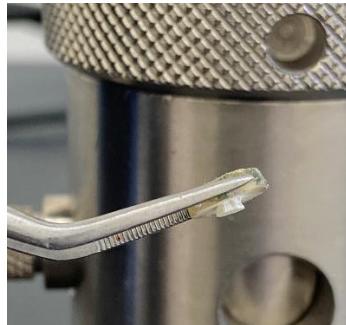


Fig 30: Extrusão material

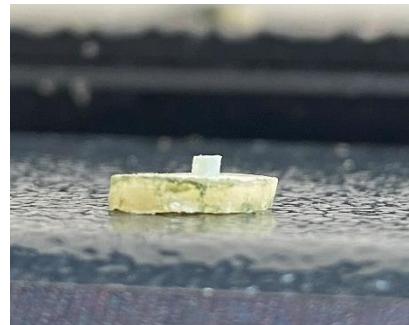


Fig 31: Extrusão PFV

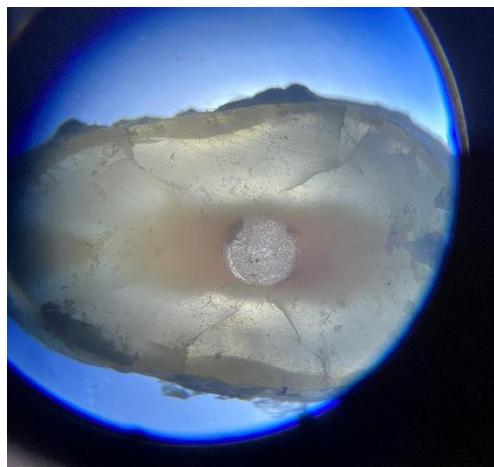


Fig 32: Análise padrões de falha

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

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.

4.6. 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 foram 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 de irrigação final testados estão expressos na Tabela 1. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a resistência de união foi significativamente maior nos grupos 4 (ETDA+US) e 5 (GA+US) quando comparados aos demais grupos ($p<0,05$), 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 (standard deviation) of bond strength of filling material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) after tested final irrigation protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW + US ^a	30	4.62 (2.51)	10.00	33.33	56.67
2. EDTA ^b	30	16.10 (4.42)	10.00	23.33	66.67
3. GA ^b	30	20.61 (5.13)	13.34	33.32	53.34
4. EDTA + US ^c	30	29.95 (3.23)	16.67	33.33	50.00
5. GA + US ^c	30	33.35 (3.96)	26.67	19.99	53.34

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$).

** DW, distilled water; US, ultrasonic activation; EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid; GA, glycolic acid.

A média (desvio padrão) da resistência de união do material restaurador à dentina radicular e o percentual dos padrões de falha após os protocolos de irrigação final testados estão expressos na Tabela 2. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a resistência de união foi significativamente maior nos grupos 4 (ETDA+US) e 5 (GA+US) quando comparados aos demais grupos ($p<0,05$), 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 (standard deviation) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) of tested final irrigation protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW + US ^a	30	4.90 (1.83)	6.67	39.99	53.34
2. EDTA ^b	30	21.43 (3.99)	10.00	26.66	63.34
3. GA ^b	30	22.55 (4.41)	6.67	33.33	50.00
4. EDTA + US ^c	30	30.95 (3.74)	10.00	40.00	50.00
5. GA + US ^c	30	33.70 (3.02)	10.00	36.66	53.34

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$).

** DW, distilled water; US, ultrasonic activation; EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid; GA, glycolic acid.

6. DISCUSSÃO

O objetivo primário do tratamento endodôntico consiste na ampliação, limpeza e descontaminação efetiva do sistema de canais radiculares, e isso é um desafio para o Endodontista. A complexidade anatômica e a presença de microorganismos resistentes presentes no interior dos canais radiculares e tecido periapical são fatores que podem dificultar o sucesso da terapia endodôntica (Chiniforush *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2022).

A constante evolução dos instrumentos endodônticos que podem ser utilizados durante o preparo químico mecânico é de grande valia, pois, facilita e possibilita uma modelagem do canal radicular mais rápida e efetiva. No entanto, isso faz com que as substâncias químicas auxiliares fiquem por menor tempo em contato com o interior do sistema de canais radiculares. Por conta disso, se dá a necessidade de utilização de recursos auxiliares de descontaminação, visando adequada sanificação.

Nessa perspectiva, a Terapia Fotodinâmica tem sido considerada uma nova possibilidade terapêutica para melhorar a desinfecção do canal radicular. Envolve a associação de um laser de baixa potência e um fotossensibilizador não tóxico, o qual possui capacidade de erradicar patógenos localizados em profundidade nos túbulos dentinários, bem como áreas de istmos e ramificações, assim, contribuindo com um suporte efetivo ao preparo químico mecânico (Ghinzelli *et al.*, 2014), visto que, as complexidades anatômicas não são uma barreira à luz no processo de descontaminação.

Todavia, o fotossensibilizador é uma substância viscosa que impregna a superfície dentinária de modo significativo (Souza *et al.*, 2021). Além disso, uma camada de “*smear layer*” química pode se formar, ocasionando a obliteração dos túbulos dentinários (Haroon *et al.*, 2021), o que pode levar à microinfiltração e à diminuição da resistência de união de materiais obturadores e restauradores à dentina do canal radicular (Souza *et al.*, 2018).

A remoção da camada de *smear layer* é imprescindível para aumentar a permeabilidade dos túbulos dentinários, pois favorece a melhor adaptação dos materiais à dentina radicular, bem como, melhora o efeito antimicrobiano das soluções irrigadoras. O ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) é a solução de irrigação final mais utilizada no âmbito endodôntico para a remoção da camada de esfregaço. Em contrapartida, tem baixa capacidade de promover redução bacteriana, promove significativa alteração na estrutura dentinária devido à desnaturação das fibras colágenas e ainda, é citotóxico aos tecidos periapicais. O ácido glicólico, por sua vez, apresenta natureza orgânica e baixo peso molecular, o que se mostra como um atributo, pois, pode ser utilizado em superfícies

minerais, como estruturas dentárias (CECCHIN et al., 2018). De acordo com relatos anteriores da literatura, o AG demonstrou menor toxicidade e igual capacidade na remoção da camada de *smear layer*, quando comparado ao EDTA, sem modificação expressiva da estrutura dentinária (Bello., 2020).

Ademais, é de conhecimento notório que o uso da ativação ultrassônica (US) sobre os irrigantes finais promove uma turbulência hidrodinâmica no interior do canal radicular, o que é útil para auxiliar na limpeza de áreas anatômicas complexas. A agitação do fotossensibilizador de forma ultrassônica também auxilia na ação antimicrobiana da PDT, pois assim, é possível que o agente não tóxico Azul de Metileno (AM), também tenha acesso ao sistema de canais radiculares, fazendo com que mais microorganismos possam ser sensibilizados. Assim sendo, há uma escassez de estudos evidenciando a real influência do ultrassom na PDT, em que se avalie a resistência de união de materiais obturadores e restauradores à dentina radicular, o que justifica a realização deste estudo.

Os materiais obturadores considerados ideais devem ser capazes de minimizar a possibilidade de invasão bacteriana, evitando a reinfecção e promovendo um selamento hermético e tridimensional do sistema de canais radiculares. Dessa forma, cimentos endodônticos biocerâmicos podem ser classificados como materiais bioativos, com base na interação com tecidos circundantes, promovendo uma ligação química entre o selante e a dentina. (Hamdy et al., 2024). São fatores que podem desempenhar o sucesso a longo prazo de um dente tratado endodonticamente.

Por outro lado, na reabilitação de dentes tratados endodonticamente com destruição coronária extensa, muitas vezes é necessária a utilização de retentores intraradiculares, como, pinos de fibra de vidro, que vão possibilitar e auxiliar a reconstrução coronária (Skapska et al., 2022). Nesse quesito, o uso de um cimento resinoso autoadesivo tem sido recomendado para promover melhor resistência de união à dentina radicular, uma vez que a combinação da fotoativação e ativação química (dual) faz com que a polimerização ocorra de forma mais uniforme, mesmo em regiões mais apicais, com difícil acesso de luz, o que garante um melhor grau de conversão dos monômeros (Clavijo, 2022). Sendo assim, as paredes do canal radicular devem ser limpas e os túbulos dentinários expostos, a fim de estabelecer uma adequada ligação e adesão dos materiais à dentina radicular, o que justifica a realização do presente estudo.

Para investigação do estudo em questão, foi utilizado o teste de *push out*, pois possibilita uma boa simulação das falhas clínicas, uma vez que a carga é aplicada perpendicularmente às interfaces coladas. Dessa forma, é possível avaliar a influência da ativação ultrassônica dos irrigantes finais sobre fotossensibilizador na sua remoção, e o quanto isso pode impactar na resistência de união dos materiais.

Em estudo que comparou o efeito das substâncias EDTA 17% e AG na estrutura dentinária, constatou-se que, embora o EDTA 17% apresente boa capacidade de remoção da camada de *smear layer*, ele apresenta características desfavoráveis, como desnaturação das fibras colágenas, erosão peritubular e intertubular quando usado por mais de 3 minutos (Barcellos *et al.*, 2020). Já o ácido glicólico, que possui natureza orgânica, sendo derivado da cana-de-açúcar e outros vegetais, é comumente usado em procedimentos dermatológicos, sendo assim, menos agressivo para as estruturas minerais como a dentina e esmalte dentário. Outros estudos relatam que o AG é indicado para aplicação em procedimentos restauradores e tão eficiente quanto o EDTA 17% na remoção da smear layer das paredes dos canais radiculares (Cecchin *et al.*, 2019). Além disso, resultados citotóxicos demonstraram que o AG apresenta menos efeito tóxico sobre os fibroblastos quando comparado ao EDTA 17% (Bello *et al.*, 2019), influenciando na interação com materiais obturadores e restauradores (Clavijo, 2022).

De acordo com resultados do presente estudo, os grupos que tiveram a ativação ultrassônica sobre os irrigantes finais na remoção do fotossensibilizador, apresentaram maiores valores na resistência de união dos materiais obturadores e restauradores à dentina radicular. Essa informação se consolida e vai de encontro a outro estudo semelhante, onde remoção da camada que oblitera os túbulos dentinários nas porções cervical, média e apical foi mais efetiva nos grupos em que houve a ativação ultrassônica (Souza *et al.*, 2017).

E, da mesma forma que observado por Souza *et al.*, 2019, a utilização da ativação ultrassônica sobre os irrigantes finais testados melhorou a resistência de união de material obturador e restaurador às paredes do canal radicular. A ativação ultrassônica promove um efeito denominado de turbulência hidrodinâmica, induzindo aumento de temperatura e de pressão hidrostática nas soluções depositadas no interior do canal radicular. A partir disso, aliando a formação de bolhas que se chocam contra as paredes do canal radicular, os irrigantes finais tem um aumento da sua capacidade de remover a *smear layer* (Castagna *et al.*, 2013). Isso pode ajudar a explicar os melhores resultados de resistência de união em ambas as avaliações do presente estudo, nos grupos em que a US foi associada aos irrigantes finais testados.

Finalizando, a PDT se constitui como um efetivo recurso auxiliar de descontaminação, onde a US do fotossensibilizador resulta em maior ação antimicrobiana desta modalidade terapêutica. No entanto, essa manobra pode comprometer a resistência de união de materiais obturadores e restauradores à dentina radicular, sendo necessária a utilização de protocolos de irrigação final para remover efetivamente esta *smear layer* química das paredes do canal radicular. E, nesse propósito, considerando os resultados do

presente estudo, o uso de irrigantes finais como EDTA e GA associado à US pode representar um protocolo de irrigação final eficaz, contribuindo para uma efetiva adesão do material obturador composto por guta-percha e cimento biocerâmico, ou do material restaurador composto por pino de fibra de vidro e cimento auto-adesivo, às paredes do canal radicular.

7. CONCLUSÃO

Dante das limitações do presente estudo, foi possível concluir que o uso da US sobre os irrigantes finais testados na remoção do fotossensitizador da PDT influenciou positivamente a resistência de união do material obturador composto por guta-percha e cimento biocerâmico, bem como na resistência de união do material restaurador composto por pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso autoadesivo.

8. REFERÊNCIAS

ABDELKARIM – ELAFIFI, H.; PARADA-AVENDAÑO, I.; ARNABAT-DOMINGUEZ, J. Photodynamic Therapy in Endodontics: a useful tool to combat antibiotic resistance? A literature review. *Antibiotics (Basel)*. v.13, 10(9):1106, 2021.

ALI, A.; BHOSALE, A.; PAWAE, S.; KAKTTI, A.; BICHPURIVA, A.; AGWAN, MA. Currents trends in root canal irrigation. *Cureus*. 2022, v.8;14(5):e24833.

ASSMANN, E.; SCARPARO, RK.; BOTTCHER, DE.; GRECCA, F.S. Bond strength to dentin of two cements based on mineral trioxide aggregate and one based on epoxy resin. *J Endod*. 2012, v.38, n.2, p.219-221.

BARCELLOS, D.P.D.C.; FARINA, A.P.; BARCELLOS, R.; SOUZA, M.A.; BORBA, M.; BEDRAN-RUSSO, A.K.; BELLO, Y.D.; PIMENTA VIDAL, C.M.; CECCHIN, D. Effect of a new irrigant solution containing glycolic acid on smear layer removal and chemical/mechanical properties of dentin. *Sci Rep*. 2020, v.30, n.10(1),7313.

BERNSTEIN.; ERIC, F. MD LEE.; JASON, M.D.; BROWN, DOUGLAS B. M.S.; YU, RUEY PHD OMD.; VAN, SCOTT.; EUGENE, M.D. Glycolic Acid Treatment Increases Type I Collagen mRNA and Hyaluronic Acid Content of Human Skin. *Dermatologci Surgery* 27(5):p 429-433, 2001.

BELLO, Y.D.; FARINA, A.P.; SOUZA, M.A.; CECCHIN, D. Glycolic acid: Characterization of a new final irrigant and effects on flexural strength and structural integrity of dentin. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2020, 106:110283.

BOGARI, D.F.; ALESSA, M.; ALJABER, M.; ALGHAMDI.; ALAMOUDI, M.; ALHAMED.; *et al.* The Biological and Mechanical Effect of Using Different Irrigation Methods on the Bond Strength of Bioceramic Sealer to Root Dentin Walls. *Cureus*. 2022, v.11, n.14(4):e24022.

BOING, T.F.; GOMES, G.M.; GOMES, J.C.; REIS, A.; GOMES, O.M.M. Is the bonding of self-adhesive cement sensitive to root region and curing mode?. *J Appl Oral Sci* 2017, v.25, n.(1), p.2-9.

CARVALHO, C.N.; GRAZZIOTIN-SOARES, R.; DE MIRANDA CANDEIRO G.T.; GALLEGOS MARTINEZ, L.; DE SOUZA, J.P.; SANTOS OLIVEIRA, P.; *et al.* Micro Push-out Bond Strength and Bioactivity Analysis of a Bioceramic Root Canal Sealer. *Iran Endod J.* 2017, v.12, n.(3), p.343-348.

CARVALHO, E.M.; LIMA, D.M.; CARVALHO, C.N.; LOGUERCIO, A.D.; MARTINELLI, J.R.; BAUER, J. Effect of airborne-particle abrasion on dentin with experimental niobophosphate bioactive glass on the microtensile bond strength of resin cements. *J Prosthodont Res.* 2015, v.59, n(2), p.129-135

CASTAGNA, F.; RIZZON, P.; DA ROSA, R.A.; SANTINI, M.F.; BARRETO, M.S.; DUARTE, M.A.; SÓ, M.V. Effect of passive ultrasonic instrumentation as a final irrigation protocol on debris and smear layer removal--a SEM analysis. *Microsc Res Tech.* 2013 May;76(5):496-502. Epub 2013 Mar 1. PMID: 23456772.

CECCHIN, D.; FARINA, A.P.; VIDAL, C.M.P.; BEDRAN-RUSSO, A.K. A Novel Enamel and Dentin Etching Protocol Using α -hydroxy Glycolic Acid: Surface Property, Etching Pattern, and Bond Strength Studies. *Oper Dent.* 2018.

CHINIFORUSH, N.; POURHAJIBAGHER, M.; SHAHABI, S.; KOSARIEH, E.; BAHADOR, A. Can Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) Enhance the Endodontic Treatment? *J Lasers Med Sci.* 2016, v.7, n(2), p.76-85.

CLAVIJO, VICTOR. Restaurações Cerâmicas Anteriores. Nova Odessa, SP: Napoleão, cap. 5, 2022.

DARZÉ, F.M.; BRIDI, E.C.; FRANÇA, F.; AMARAL, F.D.; TURSSI, C.P.; BASTING, R.T. Enamel and Dentin Etching with Glycolic, Ferulic, and Phosphoric Acids: Demineralization Pattern, Surface Microhardness, and Bond Strength Stability. *Oper Dent.* 2023. v.1, n.48(2):E35-E47.

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.* 2022; 40:103039.

DE LIMA, E.; SANTOS, R.; DURÃO, M.; NASCIMENTO, A.; BRAZ, R. Universal cements: dual activated and chemically activated. *Acta Biomater Odontol Scand.* v.23, n.2(1), p.125-129. 2016.

DIAS, K.C.; SOARES, C.J.; STEIER, L.; VERSIANI, M.A.; RACHED-JÚNIOR, F.J.; PÉCORA.; et al. Influence of drying protocol with isopropyl alcohol on the bond strength of resin-based sealers to the root dentin. *Journal Endod*, v. 40, n.1, p. 1454–1458, 2014.

DONG, X.; XU, X. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioengineering*, 2023.

ESCOBAR, P.M.; SILVA-SOUZA, A.C.; CAMARGO, R.V.; SIMÕES-CARVALHO, M.; SILVA-SOUZA, Y.T.; MAZZI-CHAVES, J.F.; et al. Influence of bioceramic intracanal medication on the bond strength of bioceramic root canal sealer. *Braz Oral Res*. v.29; n.37, p.056, 2023.

FANTIN, L.L.; SIMÕES, F.; ALENCAR, C.M.; JORDÃO-BASSO, K.C.F.; LIMA, S.N.L.; BANDÉCA, M.C.; TONETTO, M.R. Bond strength and internal adaptation of customized glass fiber posts using different bulk-fill flow resins. *J Clin Exp Dent*. 2022, v.1; n.14(3), p.263-e268.

GARCEZ, A.S.; HAMBLIN, M.R. Methylene Blue and Hydrogen Peroxide for Photodynamic Inactivation in Root Canal - A New Protocol for Use in Endodontics. *Eur Endod J*. 2017, v.20, n. 2(1), p.1-7.

GURSOY, H.; OZCAKIRYTOMRUK, C.; TANALP, J.; YILMAZ, S. Photodynamic therapy in dentistry: a review of the literature, *Clin Oral Investig*. 2013.

HAMDY, T.M.; GALAL, M.M.; ISMAIL, A.G.; SABER, S. Physicochemical properties of AH plus bioceramic sealer, Bio-C Sealer, and ADseal root canal sealer. *Head Face Med*. 2024 Jan 3;20(1):2

HAROON, S.; KHABEER, A.; FARIDI, M.A. Light-activated disinfection in endodontics: A comprehensive review. *Dent Med Probl*. 2021, v.58, n.3, p.411-418.

HUA, X.; CAO, Z.; ZHOU, X.; XU, Y._One-step continuous/semi-continuous whole-cell catalysis production of glycolic acid by a combining bioprocess with *in-situ* cell recycling and electrodialysis. *Bioresour Tecnologia*. v.273, p.515–520, 2018.

KOMINE, F.; TOMIC, M.; GERDS, T. Influence of Different Adhesive Resin Cements on the Fracture Strength of Aluminum Oxide Ceramic Posterior Crowns. *J Prótese Dent.* 2004.

LOPES, C.B.; MOTTA, P.B.; CAMPOS, T.M.; LEITE, D.P.V.; ARAKI YAMAMOTO, Â.T.; MOTA, MAS.; *et al.* Protocol for the clinical practice of photodynamic therapy in endodontics: assessment of guideline quality using the AGREE II instrument. *Photodiagnosis Photodyn Therapy*. 2022, v.38:102835.

M, ZEHNDER. Root canal irrigants. *J. Endod.* 2006.

MARCHIONATTI, A.M.E.; WANDSCHER, V.F.; RIPPE, M.P.; KAIZER, O.B.; VALANDRO, L.F. Clinical performance and failure modes of pulpless teeth restored with posts: a systematic review. *Braz Oral Res.* 2017.

MASO, P.C.; SOUZA, M.A.; BORBA, M.; GOEDEL, F.; FARINA, A.P.; CECCHIN, D.; *et al.* Influence of photodynamic therapy, different final irrigants, and ultrasonic activation on the bond strength of glass fiber posts to root dentin. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2022, v.40:103180.

NEVES, A.S.M.; PROVENZANO, J.; ROÇAS, I.N.; SIQUEIRA, J.R. Clinical Antibacterial Effectiveness of Root Canal Preparation with Reciprocating Single-instrument or Continuously Rotating Multi-instrument Systems. *JOE*. 2016; v.42 (1).

NUNES, L.P.; NUNES, G.P.; FERRISSE, T.M.; Strazzi-Sahyon, H.B.; Cintra, L.T.Â.; Dos Santos, P.H.; Sivieri-Araujo, G. Antimicrobial photodynamic therapy in endodontic reintervention: A systematic review and meta-analysis. *Photodiagnosis Photodynamic Therapy*. 2022

OLIVEIRA, B.P.; AGUIAR, C.M.; CÂMARA, A.C. Photodynamic therapy in combating the causative microorganisms from endodontic infections. Eur Journal Dent, v.8, n.3, p.424-430, 2014.

OZKOCAK, B.B.C, OZKOCAK, I.; AGACCIOLU, M. Effects of dyes used in photodynamic therapy on color stability of composite resins. Journal Oral Sci. 2022, v.1; n.64(3), p.194-197.

PEREIRA, R.; PAMATO, S.; SANTINI, M.F.; PORTO, V.C.; RICCI, W.A, SÓ M.V.R. Push-out bond strength of fiberglass posts cemented with adhesive and self-adhesive resin cements according to the root canal surface. Saudi Dent J. 2021, v.33, n.(1), p.22-26.

PLATINO, G.; GRANDE, N. M.; MERCADE, M. Pothodynamic therapy in endodontics. Int Endod J, v.52, n.6, p. 760-774, 2018.

RENATA-LOBO, C.; TANOMARU-FILHO, M.; GUERREIRO-TANOMARU, J.M.; BENAVIDES-GARCÍA, M.; HERNÁNDEZ-MEZA, E.; REYES-CARMONA, J. Push-Out Bond Strength, Characterization, and Ion Release of Premixed and Powder-Liquid Bioceramic Sealers with or without Gutta-Percha. Scanning. 2021, v.6; 2021:6617930.

STRAZZI-SAHYON, H.B, CINTRA, L.T.A, NAKAO, J.M, TAKAMIYA, A.S, QUEIROZ, I.O.A, DOS SANTOS, P.H, *et al.* Cytotoxicity of root canal irrigation solutions and photodynamic therapy using curcumin photosensitizer. Photodiagnosis Photodyn Ther, v.38, 2022.

SOUZA, M.A.; PAZINATTO, B.; BISCHOFF, K.F.; PALHANO, H.S.; CECCHIN, D.; DE FIGUEIREDO, J.A.P. Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. Photodiagnosis Photodyn Ther, v.17:216-220, 2017.

SOUZA, M.A.; PADILHA RAUBER, M.G.; ZUCHI, N.; BONACINA, L.V.; RICCI, R.; DIAS, C.T.; *et al.* Influence of final irrigation protocols and endodontic sealer on bond strength of root filling material with root dentin previously treated with photodynamic therapy. Photodiagnosis Photodynamic Therapy. 2019, v.26, p.137-141.

SOUZA, M.A.; BONACINA, L.V.; RICCI, R.; PADILHA RAUBER, M.G.; ZUCHI, N, HOFFMANN IP, *et al.* 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, v.26, p.224-228.

SKUPIEN, J.A.; SARKIS-ONOFRE, R.; CENCI, M.S.; DE MORAES, R.R.; PEREIRA-CENCI, T. A systematic review of factors associated with the retention of glass fiber posts. Braz Oral Res. 2015.

TORABINEJAD, M.; KHADEMI, A.A; BABAGOLI J.; *et al.* A new solution for smear layer removal. J Endod. 2003.

VENKATARAMAN, K.J.; BOOMINATHAN, S.K.; NAGAPPAN, R.; ABRAHAM, C.S.; KALIYAPERUMAL, A.; NACHIMUTHU J.; *et al.* Efficacy of Glycolic Acid on Debris and Smear Removal as a Final Rinse Solution in Curved Canals: A Scanning Electron Microscope Study. J Pharm Bioallied Sci. 2021.

VERAMACHANENI, C.; ARAVELLI, S.; DUNDIGALLA, S. Comparative evaluation of push-out bond strength of bioceramic and epoxy sealers after using various final irrigants: An in vitro study. J Conserv Dent. 2022.

VITORIANO DE ARAÚJO NETO JÚNIOR, E. Terapia fotodinâmica antimicrobiana em endodontia não-cirúrgica [livro eletrônico] / Eliziário Vitoriano de Araújo Neto Junior. – 2017.

ZEID, S.T.A.; BASTAWY, H.A.; SALEH, A.A.M. Natural Extracts as Biological Smear Layer Removing Agents: A Literature Review. J Int Soc Prev Community Dent, 2021.

ARTIGO SUBMETIDO **

** According to guidelines for authors of International Endodontic Journal

Influence of different final irrigation protocols for removal of the photosensitizer of photodynamic therapy activated with ultrasound on the bond strength of bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement.

Matheus Albino Souza¹, Vítor Hugo Sanches Menchik¹, Alexia Trento¹, 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: it was to evaluate, *in vitro*, the influence of different final irrigation protocols for removal of the photosensitizer of photodynamic therapy (PDT) activated with ultrasound (US) on the bond strength of bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement. **Methods:** one hundred extracted single-rooted human anterior teeth were used for the present study. After coronal sectioning, 50 roots were used to evaluate the bond strength of the filling material and 50 roots were used to evaluate the bond strength of the restorative material. In each evaluation, after complete chemical-mechanical preparation, the roots were subjected to the PDT + US protocol. Then, the roots were randomly divided into five groups (n=10), according to the final irrigation protocol: G1 – distilled water + US; G2 – EDTA 17%; G3 – GA 17%; G4 – EDTA 17% + US; G5 – GA 17% + US. After the aforementioned protocols, the roots were filled with gutta-percha and Bio-C Sealer bioceramic cement in the first evaluation, and with 0.5 glass fiber posts cemented with Rely-X U200 self-adhesive resin cement in the second evaluation. To evaluate the bond strength, in both evaluations, the roots were sectioned to obtain 1 mm thick dentin discs containing the filling/restorative material and the push-out test was performed. The failure patterns were observed under an optical microscope. Specific statistical analysis will be performed in both evaluations ($\alpha = 5\%$). **Results:** the results showed that, in both evaluations, bond strength was significantly higher in groups 4 (ETDA+US) and 5 (GA+US) when compared to the other groups ($p<0.05$), with no statistically significant difference between them ($p>0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was revealed between the tested groups ($p>0.05$), with a predominance of cohesive failure. **Conclusion:** it can be concluded that the use of US over the tested final irrigants in the photosensitizer removal improved the bond strength of a bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement.

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

INTRODUCTION

Decontamination and neutralization of microorganisms present in the root canal system are two of the main goals of endodontic treatment (Neves et al, 2016). However, it is important to note that chemical-mechanical preparation alone is insufficient to complete this step (Chinoforush et al, 2016). Therefore, an alternative that can optimize the decontamination process, being an additional possibility to endodontic treatment, is the use of photodynamic therapy after conventional chemical-mechanical preparation, which aims to inactivate microorganisms through an oxidative reaction produced by the irradiation of a non-toxic photosensitizing agent (De Araújo et al, 2022). It should be added that PDT has attributes that make it an excellent additional tool for intracanal bacterial decontamination, being safe for human periradicular tissues, showing the ability to eradicate pathogens present in biofilms, with easy application and painless (Gursoy et al, 2013).

However, the photosensitizer is a viscous substance that significantly impregnates the dentin and the activation of the low-power laser on this substance promotes the formation of a chemical “smear layer” (De Oliveira et al, 2014), which can induce microneedle leakage and decrease the bonding resistance of filling and restorative materials to root dentin (Souza et al, 2019). Because of this, there is a need for adequate intracanal cleaning and decontamination. On the other hand, the action of ultrasonic devices on auxiliary chemical substances and final irrigants induces hydrodynamic turbulence within the root canal, producing cavitation and bubbles that collide against the walls. These elements increase the temperature and hydrostatic pressure, producing “waves” that assist in the removal of the smear layer, through continuous irrigation with the ultrasonic device (Souza et al, 2017). When ultrasonic activation is associated with the photosensitizer, there is an effective improvement in the antimicrobial action of Photodynamic Therapy, allowing the photosensitizing agent to access areas of anatomical complexity, where microorganisms that are still resistant to chemical-mechanical preparation may be housed (Ghinzelli et al., 2014; Fantin et al., 2022).

The presence of a smear layer can block the dentinal tubules present in the root canal system (Torabinejad et al., 2003) and hinder the penetration of irrigants to eliminate

microorganisms located in hard-to-reach areas, such as isthmuses and branches (Ali et al., 2022; Ghinzelli et al., 2014), especially when there is ultrasonic activation of the photosensitizer. In this sense, 17% EDTA is known to be the most widespread final irrigant in Endodontics, having a chelating action and good ability to remove the smear layer (Barcellos et al, 2020). This substance has some unfavorable characteristics and can induce some toxicity to periapical tissues. Furthermore, it has a low bacterial reduction capacity and promotes denaturation of collagen fibers, as well as considerable modification in the structure of root dentin (Souza et al., 2021).Glycolic acid (GA), in turn, has an organic nature and low molecular weight, showing qualities and capacity to be used on mineral surfaces, such as dental structures (Cecchin, 2018). According to in vivo and in vitro studies, GA reveals the capacity to induce collagen synthesis and fibroblast proliferation (Berstein, 2001). In fact, studies also indicate that GA presented lower toxicity and equal capacity to remove the smear layer, when compared to 17% EDTA, without modifying the dentin structure (Bello et al, 2020).

In this line, it is worth noting that ultrasonic activation associated with final irrigants has been suggested as a way to improve the efficiency of smear layer removal, which promotes the obliteration of dentinal tubules. According to the results of the study by Souza et al, 2017, the use of US improved the ability of 17% EDTA irrigants and QMix to remove the photosensitizer from the cervical, middle and apical regions of the root canal after photodynamic therapy.

Successful endodontic therapy requires adequate disinfection of the root canal system and hermetic sealing with filling materials, such as gutta-percha and endodontic sealants (Hamdy et al, 2024). Currently, resin-based root canal sealants are the most commonly used, presenting adequate properties such as bioactivity, alkalinity, good adaptation and bond strength when compared to other materials. However, there is no chemical bond between the dentin structure and the endodontic sealant (Dos Santos et al 2021; Assmann et al, 2012). However, bioceramic endodontic sealers also present bioactivity, having stable chemical bonds with dentin through hydroxyapatite deposition (Carvalho et al, 2015), stimulating the formation of mineralized tissue. The biocompatibility and bioactivity of bioceramic endodontic sealers are mainly demonstrated in their interaction with the surrounding tissues (Dong, 2023), promoting a chemical bond between the bioactive endodontic sealant and the dentin (Hamdy, 2024).

In view of this, after root canal filling, reconstruction of teeth with extensive coronal destruction is often necessary, constituting a necessary and challenging factor (Souza et al, 2019). Intraradicular fiberglass posts are recommended to retain a definitive

restoration, as they have mechanical properties similar to the tooth structure and can minimize the transfer of masticatory stress to the tooth (Marchionatti et al, 2017).

Likewise, the cement to be used for adaptation and intracanal cementation of a glass fiber post plays a significant role in the bond strength, because long-term clinical success depends mainly on the adhesion between the tooth structure and the surface to be bonded, in order to create micromechanical retention (Ling et al, 2022). Therefore, the use of double-bonded resin cements (chemical and photoactivated) is necessary for adequate polymerization, since there is limited access of light in the intracanal region (Skapska et al, 2022). However, there are no studies in the literature that show the real potential of ultrasonic activation of final irrigants in the removal of the photosensitizer, which was activated with ultrasound, during PDT, with the objective of evaluating its impact on the bond strength of bioceramic cements and glass fiber posts cemented with self-adhesive resin cement, making the present study justifiable.

This study aimed to evaluate, in vitro, the influence of different final irrigation protocols for removal of the photosensitizer of photodynamic therapy (PDT) activated with ultrasound (US) on the bond strength of bioceramic cement and fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement.

MATERIAL AND METHODS

This study was submitted to and approved by the Research Ethics Committee of the University of Passo Fundo (Passo Fundo, RS, Brazil).

Sample collection and preparation

One hundred extracted single-rooted anterior human teeth were used in the present study (figure 1), obtained from the Biobank of the Dentistry Course of the University of Passo Fundo (Passo Fundo, RS, Brazil). The coronal portion was sectioned at the cementoenamel junction, so that the remaining root had a length of 15 mm. A diamond disk (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil) was used for cutting, coupled to a low-speed straight piece, under refrigeration (figure 2).

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 #10 K-file into the root canal until its tip was visible in the apical foramen (Figure 3). From this measurement, the length was reduced by 1 mm, establishing the working length. The apical foramen was then sealed with Opallis light-curing resin (FGM, Joinville, SC, Brazil) to prevent leakage of the substances tested during the experiment (Figure 4). The external waterproofing of the roots was also performed using two applications of

cyanoacrylate-based adhesive (SuperBonder – Henkel, São Paulo, SP, Brazil) using an Aplik microapplicator (Angelus) (Figure 5).

The root canal enlargement was performed using the ProTaper rotary system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), following the sequence of files S1, S2, F1, F2 and F3. All instruments were used at working length, with a speed of 250 rpm and torque of 2 N, previously programmed in the X-Smart Plus motor (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) (figure 6).

The auxiliary chemical substance used during root instrumentation was distilled water, which was 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. After this, a final irrigation with 5 mL of sterile distilled water and aspiration with an intracanal suction cannula were performed. Of the 100 roots obtained and prepared, 50 were used to evaluate the bond strength of the filling material and 50 to evaluate the bond strength of the restorative material. In the 50 roots used to evaluate the bond strength of the restorative material, after chemical-mechanical preparation with the Pro-Taper rotary system, the root canals were enlarged in their cervical and middle thirds with 0.5 post preparation burs (Angelus) to a depth of 10 mm, to provide adequate space for cementation of the fiberglass posts (figure 7). The preparation burs (Angelus) were used in a low-speed contra-angle handpiece driven by an electric micromotor at a constant rotation speed of 10,000 rpm, in the crown-apex direction, using a gentle digital in-and-out movement. The root canals were then irrigated with 3 mL of 17% EDTA (Natupharma – Passo Fundo) for 3 minutes to remove the smear layer. After that, final irrigation was performed with 5 mL of sterile distilled water and aspiration with a suction cannula.

Photodynamic therapy protocol

All 100 roots were subjected to the photodynamic therapy protocol associated with the use of ultrasound. The root canals were filled with 0.01% methylene blue (Chimiolux – DMC, São Carlos, SP, Brazil) (figures 8 and 9) until overflow, remaining at rest for 5 minutes (pre-irradiation time).

In the last minute of the pre-irradiation time, ultrasonic activation of 0.01% methylene blue was performed (figure 9). Ultrasonic activation was performed with an ultrasonic device (Soniclax BP Led, Schuster Equipamentos Odontológicos, Santa Maria, RS, Brazil). The stainless steel ultrasonic insert E1 Irrisonic (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brazil) was inserted 1 mm below the working length and activated

for 1 min (3x of 20 seconds). Power scale 2 for endodontics (20% power) will be used to promote ultrasonic activation. (Figure 12)

Next, a sterilized intracanal optical fiber was coupled to a low-intensity laser device (X-Therapy, DMC, São Carlos, SP, Brazil) and inserted 2 mm below the working length. The root canals were irradiated for 90 seconds, using 100 mW of power, 660-690 wavelength and 9 J of dose, according to the manufacturer's instructions (Figures 10 and 11). After the PDT + US protocol, final irrigation was performed with 5 ml of distilled water and aspiration with a suction cannula.

Final irrigation protocols

After the photodynamic therapy protocol, the 50 roots from each evaluation were randomly divided into five groups (n=10), according to the final irrigation protocol, as follows:

G1 - (negative control) – distilled water + US

G2 - EDTA 17%

G3 - GA 17%

G4 - EDTA 17% + US

G5 - GA + US

In the groups without US, the solution was injected into the root canals with a 5 mL syringe and hypodermic needle (20x5.5mm) until it reached the canal entrance, remaining there for 1 minute (figure 13). In the groups with US, the solution was applied followed by US activation (Soniclax BP Led, Schuster Equipamentos Odontológicos, Santa Maria, RS, Brazil). The E1 Irrisonic stainless steel ultrasonic insert (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brazil) was inserted 1 mm below the working length and activated for 1 min (3x 20 seconds) (Figure 14). Power scale 2 for endodontics (20% power) was used to promote ultrasonic activation. After the photosensitizer removal protocol, final irrigation with 5 ml of distilled water and aspiration with a suction cannula were performed.

Evaluation of the bond strength of the filling material

Fifty roots were used for this evaluation. After performing the final irrigation protocols, the 10 roots of each group were dried with absorbent paper points and subsequently filled with the bioceramic cement Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brazil) (figures 15 and 16), F3 gutta-percha cone of the ProTaper rotary system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and accessory gutta-percha cones (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brazil). The lateral condensation technique was used to fill the root canals.

The Bio-C Sealer cement (Angelus) was applied throughout the root canal with the aid of an intracanal tip and then the adaptation of the gutta-percha cone, which was previously calibrated, was inserted into the root canal. The accessory cones were then inserted using a digital spacer “B” (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). The accessory cones were used until the digital spacer did not penetrate more than five millimeters into the canal. The excess gutta-percha cones were then cut using a Paiva condenser number 2 (SS White Duflex, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) heated in a lamp, and finally cold vertical condensation was performed using the same condenser.

After being filled, the first millimeter of each canal was sealed with temporary filling cement (Villevie, Joinville, SC, Brazil) (Figure 17) and then stored for 21 days in an oven at a constant temperature of 37°C and relative humidity. After 21 days of storage, the roots of each group were fixed with sticky wax to an acrylic plate (60x20x3mm) (Figure 18) and positioned in a metallographic cutter. Horizontal sections were made in the roots, the first disc was discarded and three subsequent discs of approximately 1 mm in thickness were obtained from each root (Figure 19), totaling 30 discs per group ($n=3 \times 10 = 30$) containing dentin + filling material (Fig. 20). These discs were subjected to the push-out test using a universal testing machine (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brazil).

In the push-out test, the manufactured discs were positioned with the cervical part of the cut facing down on the table (perforated in the center) of the device. A vertical force from top to bottom was applied perpendicularly to the filling material by means of a metal piston, which has a circular cross-section, covering the largest possible area of filling material without touching the dentin walls. The metal piston was connected to a 2000 N load cell, which was connected to the universal testing machine (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brazil) (figure 21). The test was performed at a speed of 1 mm per minute and the load was applied until the extrusion of the fragment of filling material occurred. From this, the measurement of the force, in newtons (N), necessary for the displacement of the material was obtained on the computer connected to the machine.

After performing the push-out tests, the dentin discs were observed individually under an optical microscope (Carl Zeiss, São Paulo, SP, Brazil) coupled to the computer, so that, at a magnification of 50x, it was possible to measure the perimeter of the canal in the cervical and apical portion of the dentin disc (figure 25). The perimeter measurement was inserted into the formula $C=2\pi R$, thus obtaining an average measurement of the radii. This average of the radii was used to calculate the lateral area of the cone trunk, using the following formula, as described in the work of Dias et al. (2014): $A = \pi.(R+r).[h^2 + (R-r)^2]0.5$.

The bond strength was calculated in MPa, by dividing the force in newtons (N) obtained in the push-out test by the surface area (A) of the canal. At the same time, under an optical microscope, the failure patterns in the filling or restorative material of each sample were observed and classified as follows:

- 1) Adhesive failure: between dentin and cement, absence of cement on the dentinal walls of the root canal;
- 2) Cohesive failure: failure of the filling or restorative material (cement/gutta-percha or fiberglass post), presence of cement on the dentinal walls of the root canal;
- 3) Mixed failure: both failures can be observed.

Evaluation of the bond strength of the restorative material

Fifty roots were used for this evaluation. After performing the final irrigation protocols, fiberglass posts were cemented with self-adhesive resin cement inside the 10 roots of each group. The fiberglass posts No. 0.5 (GFP - Exacto) (Angelus – Londrina, PR, Brazil) were conditioned with 35% phosphoric acid (Angelus) for 30s, rinsed for 30s and gently air-dried. The application of silane (Angelus – Londrina, PR, Brazil) to the posts was performed for 1 min, followed by the application of Scotchbond adhesive (Adper 3M) and light curing for 20s with VALO Cordless, which uses customized, broad-spectrum light-emitting diodes (LED) to produce high-intensity light between 395 and 480nm. The root canal dentin was not conditioned. Subsequently, self-adhesive resin cement Rely-X U200 Automix (3M ESPE – Campinas, SP, Brazil) was injected with mixing tips for intracanal insertion. The fiberglass posts were positioned inside the root canal at a depth of 10 mm and maintained under digital pressure for 20 seconds. Excess resin cement was removed and polymerized with a VALO Cordless light-curing unit for 20 seconds on each surface (vestibular, 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 filling material. The push-out test and analysis of the failure patterns were also performed.

- 1) Adhesive failure: between dentin and cement, absence of cement on the dentinal walls of the root canal;
- 2) Cohesive failure: failure of the filling or restorative material (cement/gutta-percha or fiberglass post), presence of cement on the dentinal walls of the root canal;
- 3) Mixed failure: both failures can be observed.

Statistical analysis

The normal distribution of the results was confirmed by the Kolmogorov–Smirnov test ($p<0.05$). The bond strength, in both evaluations, was analyzed by means of two-way ANOVA, followed by the Tukey post-hoc test, allowing a quantitative analysis of these data. The distribution of failure modes among the groups was analyzed using the chi-square test, allowing a descriptive analysis of these data. All tests were established with a significance level of 5%. The 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 filling material to the root canal dentin and the percentage of failure patterns after the final irrigation protocols tested are shown in Table 1. According to the results obtained, it can be observed that the bond strength was significantly higher in groups 4 (ETDA+US) and 5 (GA+US) when compared to the other groups ($p<0.05$), with no statistically significant difference between them ($p>0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was revealed between the groups tested ($p>0.05$), with a predominance of cohesive failure in all groups, followed by mixed failure and, finally, adhesive failure.

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

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW + US ^a	30	4.62 (2.51)	10.00	33.33	56.67
2. EDTA ^b	30	16.10 (4.42)	10.00	23.33	66.67
3. GA ^b	30	20.61 (5.13)	13.34	33.32	53.34
4. EDTA + US ^c	30	29.95 (3.23)	16.67	33.33	50.00
5. GA + US ^c	30	33.35 (3.96)	26.67	19.99	53.34

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$).

** DW, distilled water; US, ultrasonic activation; EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid; GA, glycolic acid.

The mean (standard deviation) of the bond strength of the restorative material to the root dentin and the percentage of failure patterns after the final irrigation protocols tested are shown in Table 2. According to the results obtained, it can be observed that the bond strength was significantly higher in groups 4 (ETDA+US) and 5 (GA+US) when compared to the other groups ($p < 0.05$), with no statistically significant difference between them ($p > 0.05$). Regarding the percentage of failure patterns, no statistically significant difference was revealed between the groups tested ($p > 0.05$), with a predominance of cohesive failure in all groups, followed by mixed failure and, finally, adhesive failure.

Table 2. Mean (standard deviation) of bond strength of restorative material to root canal dentin (MPa) and percentage of pattern of failure (%) of tested final irrigation protocols.

Group	n	Push Out Bond Strength	Failure mode		
			Adhesive	Mixed	Cohesive
1. DW + US ^a	30	4.90 (1.83)	6.67	39.99	53.34
2. EDTA ^b	30	21.43 (3.99)	10.00	26.66	63.34
3. GA ^b	30	22.55 (4.41)	6.67	33.33	50.00
4. EDTA + US ^c	30	30.95 (3.74)	10.00	40.00	50.00
5. GA + US ^c	30	33.70 (3.02)	10.00	36.66	53.34

* Different superscript lowercase letters indicate, in the column, statistically significant differences ($p < 0.05$).

** DW, distilled water; US, ultrasonic activation; EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid; GA, glycolic acid.

DISCUSSION

Endodontic treatment consists of enlarging, cleaning and effectively decontaminating the root canal system, and this is a challenge for the Endodontist. Anatomical complexity and the presence of resistant microorganisms are factors that can hinder the success of endodontic therapy. The constant evolution of endodontic instruments that can be used during chemical-mechanical preparation is of great value, as it facilitates and enables more effective root canal shaping. However, this causes the auxiliary chemical substances to remain in contact with the interior of the root canal system for a shorter period of time. Because of this, it is necessary to use auxiliary decontamination resources.

From this perspective, Photodynamic Therapy has been considered a new therapeutic possibility to improve root canal disinfection. It involves the association of a low-power laser and a non-toxic photosensitizer, which has the capacity to eradicate pathogens located deep in the dentinal tubules, as well as isthmus and branching areas, thus contributing to effective support for chemical-mechanical preparation (Ghinzelli et al., 2014), since the anatomical complexities are not a barrier to light in the decontamination process. However, the photosensitizer is a viscous substance that significantly impregnates the dentin surface. In addition, a chemical smear layer can form, causing obliteration of the dentinal tubules (Haroon et al., 2021), which can lead to microleakage and decreased bond strength of filling and restorative materials to the root canal dentin (Souza et al., 2018).

Removing the smear layer is essential to increase the permeability of the dentinal tubules, as it favors better adaptation of the materials to the root dentin, as well as improving the antimicrobial effect of the irrigating solutions. Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) is the final irrigation solution most commonly used in endodontics to remove the smear layer. On the other hand, it has a low capacity to promote bacterial reduction, causes significant changes in the dentin structure due to the denaturation of collagen fibers and is also cytotoxic to periapical tissues. Glycolic acid, in turn, has an organic nature and low molecular weight, which is an attribute, since it can be used on mineral surfaces, such as dental structures (CECCHIN et al., 2018). According to previous reports in the literature, AG demonstrated lower toxicity and equal capacity in removing the smear layer, when compared to EDTA, without significant modification of the dentin structure (Bello., 2020).

Furthermore, it is well known that the use of ultrasonic activation (US) on final irrigants promotes hydrodynamic turbulence inside the root canal, which is useful for assisting in the cleaning of complex anatomical areas. The ultrasonically agitated photosensitizer also aids in the antimicrobial action of PDT, as it allows the non-toxic agent Methylene Blue (MB) to access complex areas of the root canal system. Therefore, there is a shortage of studies evidencing the real influence of ultrasound on PDT, in which the bond strength of filling and restorative materials to root dentin is evaluated, which justifies the performance of this study.

The ideal filling materials should be capable of minimizing the possibility of bacterial invasion, preventing reinfection and obtaining a hermetic seal of the root canal system. Thus, bioceramic endodontic sealers can be classified as bioactive materials, based on their interaction with surrounding tissues, promoting a chemical bond between the sealant and dentin (Hamdy et al., 2024). These are factors that can affect the long-term success of an endodontically treated tooth. On the other hand, in the rehabilitation of endodontically treated teeth with extensive coronal destruction, it is often necessary to use intraradicular retainers, such as fiberglass posts, which will enable and assist in coronal reconstruction. In this regard, the use of a self-adhesive resin cement has been recommended to promote better bond strength to root dentin, resulting in more effective polymerization of the bond interface, especially in areas of the middle and apical third, which hinder the access of light from the photopolymerizing device (Souza et al., 2019). Nevertheless, bond strength depends on the quality of the micromechanical connection created. This is where the importance of a self-adhesive resin cement (double bond) comes in, as it allows the polymerization process to take place adequately, even with limited access of light in the intracanal region (Skapska et al., 2022). Therefore, the walls

of the root canal must be cleaned and the dentinal tubules exposed in order to establish a more adequate bond and adhesion of the materials to the root dentin, which justifies the present study.

To investigate the study in question, the push out test was used, as it allows a good simulation of clinical failures, since the load is applied perpendicularly to the bonded interfaces. In this way, it is possible to evaluate the influence of the ultrasonic activation of the final irrigants on the photosensitizer in its removal, and how much this can impact the bond strength of the materials. In a study that compared the effect of EDTA 17% and AG on dentin structure, it was found that although EDTA 17% has a good ability to remove the smear layer, it has unfavorable characteristics, such as denaturation of collagen fibers, peritubular and intertubular erosion when used for more than 3 minutes (Barcellos et al., 2020). Glycolic acid, which has an organic nature and is derived from sugarcane and other plants, is commonly used in dermatological procedures, and is therefore less aggressive to mineral structures such as dentin and tooth enamel. Other studies report that AG is indicated for application in restorative procedures and is as efficient as EDTA 17% in removing the smear layer from the walls of root canals (Cecchin et al., 2019). Furthermore, cytotoxic results demonstrated that AG has less toxic effect on fibroblasts when compared to 17% EDTA (Bello et al., 2019).

According to the results of this study, the groups that underwent ultrasonic activation on the final irrigants when removing the photosensitizer showed higher values in the bond strength of the filling and restorative materials to the root dentin. This information is consolidated and in line with another similar study, where the removal of the layer that obliterates the dentinal tubules in the cervical, middle and apical portions was more effective in the groups that underwent ultrasonic activation (Souza et al., 2017). And, as observed by Souza et al., 2019, the use of ultrasonic activation on the final irrigants tested improved the bond strength of the filling and restorative material to the walls of the root dentin. Ultrasonic activation promotes a mechanism called hydrodynamic turbulence, inducing an increase in temperature and hydrostatic pressure in the solutions deposited inside the root canal. From this, combined with the formation of bubbles and cavitations that collide with the root canal walls, the final irrigants have an increased capacity to remove the smear layer (Castagna et al., 2013). This may help explain the better bond strength results in both evaluations of the present study, in the groups in which US was associated with the final irrigants tested.

Finally, PDT constitutes an effective auxiliary decontamination resource, where the US of the photosensitizer results in greater antimicrobial action of this therapeutic modality. However, this maneuver may compromise the bond strength of filling and

restorative materials to the root dentin, requiring the use of final irrigation protocols to effectively remove this chemical smear layer from the root canal walls. And, for this purpose, considering the results of the present study, the use of final irrigants such as EDTA and GA associated with US may represent an effective final irrigation protocol, contributing to an effective adhesion of the filling material composed of gutta-percha and bioceramic cement, or of the restorative material composed of fiberglass post and self-adhesive cement, to the walls of the root canal.

CONCLUSION

Given the limitations of the present study, it was possible to conclude that the use of US on the final irrigants tested in the removal of the PDT photosensitizer positively influenced the bond strength of the filling material composed of gutta-percha and bioceramic cement, as well as the bond strength of the restorative material composed of fiberglass posts cemented with self-adhesive resin cement.

REFERENCES

ABDELKARIM – ELAFIFI, H.; PARADA-AVENDAÑO, I.; ARNABAT-DOMINGUEZ, J. Photodynamic Therapy in Endodontics: a useful tool to combat antibiotic resistance? A literature review. *Antibiotics (Basel)*. v.13, 10(9):1106, 2021.

ALI, A.; BHOSALE, A.; PAWAE, S.; KAKTTI, A.; BICHPURIVA, A.; AGWAN, MA. Currents trends in root canal irrigation. *Cureus*. 2022, v.8;14(5):e24833.

ASSMANN, E.; SCARPARO, RK.; BOTTCHER, DE.; GRECCA, F.S. Bond strength to dentin of two cements based on mineral trioxide aggregate and one based on epoxy resin. J Endod. 2012, v.38, n.2, p.219-221.

BARCELLOS, D.P.D.C.; FARINA, A.P.; BARCELLOS, R.; SOUZA, M.A.; BORBA, M.; BEDRAN-RUSSO, A.K.; BELLO, Y.D.; PIMENTA VIDAL, C.M.; CECCHIN, D. Effect of a new irrigant solution containing glycolic acid on smear layer removal and chemical/mechanical properties of dentin. Sci Rep. 2020, v.30, n.10(1),7313.

BERNSTEIN.; ERIC, F. MD LEE.; JASON, M.D.; BROWN, DOUGLAS B. M.S.; YU, RUEY PHD OMD.; VAN, SCOTT.; EUGENE, M.D. Glycolic Acid Treatment Increases Type I Collagen mRNA and Hyaluronic Acid Content of Human Skin. Dermatologic Surgery 27(5):p 429-433, 2001.

BELLO, Y.D.; FARINA, A.P.; SOUZA, M.A.; CECCHIN, D. Glycolic acid: Characterization of a new final irrigant and effects on flexural strength and structural integrity of dentin. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2020, 106:110283.

BOGARI, D.F.; ALESSA, M.; ALJABER, M.; ALGHAMDI.; ALAMOUDI, M.; ALHAMED.; *et al.* The Biological and Mechanical Effect of Using Different Irrigation Methods on the Bond Strength of Bioceramic Sealer to Root Dentin Walls. Cureus. 2022, v.11, n.14(4):e24022.

BOING, T.F.; GOMES, G.M.; GOMES, J.C.; REIS, A.; GOMES, O.M.M. Is the bonding of self-adhesive cement sensitive to root region and curing mode?. J Appl Oral Sci 2017, v.25, n.(1), p.2-9.

CARVALHO, C.N.; GRAZZIOTIN-SOARES, R.; DE MIRANDA CANDEIRO G.T.; GALLEGOS MARTINEZ, L.; DE SOUZA, J.P.; SANTOS OLIVEIRA, P.; *et al.* Micro Push-out Bond Strength and Bioactivity Analysis of a Bioceramic Root Canal Sealer. Iran Endod J. 2017, v.12, n.(3), p.343-348.

CARVALHO, E.M.; LIMA, D.M.; CARVALHO, C.N.; LOGUERCIO, A.D.; MARTINELLI, J.R.; BAUER, J. Effect of airborne-particle abrasion on dentin with

experimental niobophosphate bioactive glass on the microtensile bond strength of resin cements. J Prosthodont Res. 2015, v.59, n(2), p.129-135

CASTAGNA, F.; RIZZON, P.; DA ROSA, R.A.; SANTINI, M.F.; BARRETO, M.S.; DUARTE, M.A.; SÓ, M.V. Effect of passive ultrasonic instrumentation as a final irrigation protocol on debris and smear layer removal--a SEM analysis. Microsc Res Tech. 2013 May;76(5):496-502. Epub 2013 Mar 1. PMID: 23456772.

CECCHIN, D.; FARINA, A.P.; VIDAL, C.M.P.; BEDRAN-RUSSO, A.K. A Novel Enamel and Dentin Etching Protocol Using α -hydroxy Glycolic Acid: Surface Property, Etching Pattern, and Bond Strength Studies. Oper Dent. 2018.

CHINIFORUSH, N.; POURHAJIBAGHER, M.; SHAHABI, S.; KOSARIEH, E.; BAHADOR, A. Can Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) Enhance the Endodontic Treatment? J Lasers Med Sci. 2016, v.7, n(2), p.76-85.

CLAVIJO, VICTOR. Restaurações Cerâmicas Anteriores. Nova Odessa, SP: Napoleão, cap. 5, 2022.

DARZÉ, F.M.; BRIDI, E.C.; FRANÇA, F.; AMARAL, F.D.; TURSSI, C.P.; BASTING, R.T. Enamel and Dentin Etching with Glycolic, Ferulic, and Phosphoric Acids: Demineralization Pattern, Surface Microhardness, and Bond Strength Stability. Oper Dent. 2023. v.1, n.48(2):E35-E47.

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, 2022; 40:103039.

DE LIMA, E.; SANTOS, R.; DURÃO, M.; NASCIMENTO, A.; BRAZ, R. Universal cements: dual activated and chemically activated. Acta Biomater Odontol Scand. v.23, n.2(1), p.125-129. 2016.

DIAS, K.C.; SOARES, C.J.; STEIER, L.; VERSIANI, M.A.; RACHED-JÚNIOR, F.J.; PÉCORA.; et al. Influence of drying protocol with isopropyl alcohol on the bond strength of resin-based sealers to the root dentin. Journal Endod, v. 40, n.1, p. 1454–1458, 2014.

DONG, X.; XU, X. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioengineering*, 2023.

ESCOBAR, P.M.; SILVA-SOUZA, A.C.; CAMARGO, R.V.; SIMÕES-CARVALHO, M.; SILVA-SOUZA, Y.T.; MAZZI-CHAVES, J.F.; *et al.* Influence of bioceramic intracanal medication on the bond strength of bioceramic root canal sealer. *Braz Oral Res.* v.29; n.37, p.056, 2023.

FANTIN, L.L.; SIMÕES, F.; ALENCAR, C.M.; JORDÃO-BASSO, K.C.F.; LIMA, S.N.L.; BANDÉCA, M.C.; TONETTO, M.R. Bond strength and internal adaptation of customized glass fiber posts using different bulk-fill flow resins. *J Clin Exp Dent.* 2022, v.1; n.14(3), p.263-e268.

GARCEZ, A.S.; HAMBLIN, M.R. Methylene Blue and Hydrogen Peroxide for Photodynamic Inactivation in Root Canal - A New Protocol for Use in Endodontics. *Eur Endod J.* 2017, v.20, n. 2(1), p.1-7.

GURSOY, H.; OZCAKIRYTOMRUK, C.; TANALP, J.; YILMAZ, S. Photodynamic therapy in dentistry: a review of the literature, *Clin Oral Investig.* 2013.

HAMDY, T.M.; GALAL, M.M.; ISMAIL, A.G.; SABER, S. Physicochemical properties of AH plus bioceramic sealer, Bio-C Sealer, and ADseal root canal sealer. *Head Face Med.* 2024 Jan 3;20(1):2

HAROON, S.; KHABEER, A.; FARIDI, M.A. Light-activated disinfection in endodontics: A comprehensive review. *Dent Med Probl.* 2021, v.58, n.3, p.411-418.

HUA, X.; CAO, Z.; ZHOU, X.; XU, Y._One-step continuous/semi-continuous whole-cell catalysis production of glycolic acid by a combining bioprocess with *in-situ* cell recycling and electrodialysis. *Bioresour Tecnologia.* v.273, p.515–520, 2018.

KOMINE, F.; TOMIC, M.; GERDS, T. Influence of Different Adhesive Resin Cements on the Fracture Strength of Aluminum Oxide Ceramic Posterior Crowns. *J Prótese Dent.* 2004.

LOPES, C.B.; MOTTA, P.B.; CAMPOS, T.M.; LEITE, D.P.V.; ARAKI YAMAMOTO, Â.T.; MOTA, MAS.; *et al.* Protocol for the clinical practice of photodynamic therapy in endodontics: assessment of guideline quality using the AGREE II instrument. Photodiagnosis Photodyn Therapy. 2022, v.38:102835.

M, ZEHNDER. Root canal irrigants. J. Endod. 2006.

MARCHIONATTI, A.M.E.; WANDSCHER, V.F.; RIPPE, M.P.; KAIZER, O.B.; VALANDRO, L.F. Clinical performance and failure modes of pulpless teeth restored with posts: a systematic review. Braz Oral Res. 2017.

MASO, P.C.; SOUZA, M.A.; BORBA, M.; GOEDEL, F.; FARINA, A.P.; CECCHIN, D.; *et al.* Influence of photodynamic therapy, different final irrigants, and ultrasonic activation on the bond strength of glass fiber posts to root dentin. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2022, v.40:103180.

NEVES, A.S.M.; PROVENZANO, J.; ROÇAS, I.N.; SIQUEIRA, J.R. Clinical Antibacterial Effectiveness of Root Canal Preparation with Reciprocating Single-instrument or Continuously Rotating Multi-instrument Systems. JOE. 2016; v.42 (1).

NUNES, L.P.; NUNES, G.P.; FERRISSE, T.M.; Strazzi-Sahyon, H.B.; Cintra, L.T.Â.; Dos Santos, P.H.; Sivieri-Araujo, G. Antimicrobial photodynamic therapy in endodontic reintervention: A systematic review and meta-analysis. Photodiagnosis Photodynamic Therapy. 2022

OLIVEIRA, B.P.; AGUIAR, C.M.; CÂMARA, A.C. Photodynamic therapy in combating the causative microorganisms from endodontic infections. Eur Journal Dent, v.8, n.3, p.424-430, 2014.

OZKOCAK, B.B.C, OZKOCAK, I.; AGACCIOWLU, M. Effects of dyes used in photodynamic therapy on color stability of composite resins. Journal Oral Sci. 2022, v.1; n.64(3), p.194-197.

PEREIRA, R.; PAMATO, S.; SANTINI, M.F.; PORTO, V.C.; RICCI, W.A, SÓ M.V.R. Push-out bond strength of fiberglass posts cemented with adhesive and self-adhesive resin cements according to the root canal surface. Saudi Dent J. 2021, v.33, n.(1), p.22-26.

PLATINO, G.; GRANDE, N. M.; MERCADE, M. Pothodynamic therapy in endodontics. *Int Endod J*, v.52, n.6, p. 760-774, 2018.

RENATA-LOBO, C.; TANOMARU-FILHO, M.; GUERREIRO-TANOMARU, J.M.; BENAVIDES-GARCÍA, M.; HERNÁNDEZ-MEZA, E.; REYES-CARMONA, J. Push-Out Bond Strength, Characterization, and Ion Release of Premixed and Powder-Liquid Bioceramic Sealers with or without Gutta-Percha. *Scanning*. 2021, v.6; 2021:6617930.

STRAZZI-SAHYON, H.B, CINTRA, L.T.A, NAKAO, J.M, TAKAMIYA, A.S, QUEIROZ, I.O.A, DOS SANTOS, P.H, *et al.* Cytotoxicity of root canal irrigation solutions and photodynamic therapy using curcumin photosensitizer. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v.38, 2022.

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

SOUZA, M.A.; PADILHA RAUBER, M.G.; ZUCHI, N.; BONACINA, L.V.; RICCI, R.; DIAS, C.T.; *et al.* Influence of final irrigation protocols and endodontic sealer on bond strength of root filling material with root dentin previously treated with photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodynamic Therapy*. 2019, v.26, p.137-141.

SOUZA, M.A.; BONACINA, L.V.; RICCI, R.; PADILHA RAUBER, M.G.; ZUCHI, N, HOFFMANN IP, *et al.* 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, v.26, p.224-228.

SKUPIEN, J.A.; SARKIS-ONOFRE, R.; CENCI, M.S.; DE MORAES, R.R.; PEREIRA-CENCI, T. A systematic review of factors associated with the retention of glass fiber posts. *Braz Oral Res*. 2015.

TORABINEJAD, M.; KHADEMI, A.A; BABAGOLI J.; *et al.* A new solution for smear layer removal. *J Endod*. 2003.

VENKATARAMAN, K.J.; BOOMINATHAN, S.K.; NAGAPPAN, R.; ABRAHAM, C.S.; KALIYAPERUMAL, A.; NACHIMUTHU J.; *et al.* Efficacy of Glycolic Acid on Debris and Smear Removal as a Final Rinse Solution in Curved Canals: A Scanning Electron Microscope Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021.

VERAMACHANENI, C.; ARAVELLI, S.; DUNDIGALLA, S. Comparative evaluation of push-out bond strength of bioceramic and epoxy sealers after using various final irrigants: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2022.

VITORIANO DE ARAÚJO NETO JÚNIOR, E. Terapia fotodinâmica antimicrobiana em endodontia não-cirúrgica [livro eletrônico] / Eliziário Vitoriano de Araújo Neto Junior. – 2017.

ZEID, S.T.A.; BASTAWY, H.A.; SALEH, A.A.M. Natural Extracts as Biological Smear Layer Removing Agents: A Literature Review. *J Int Soc Prev Community Dent*, 2021.