



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

ATIVAÇÃO DE IRRIGANTES EM ENDODONTIA: IRRIGAÇÃO SÓNICA VS ULTRASSÓNICA - REVISÃO NARRATIVA

[Irrigants Activation in Endodontics: Sonic vs Ultrasonic Irrigation - Narrative Review]

Dissertação de Mestrado

[2018-2024]

João Pedro Santiago Matos

Orientador:

Mestre Miguel Albuquerque Matos

Outubro 2024

ATIVACÃO DE IRRIGANTES EM ENDODONTIA: IRRIGAÇÃO SÓNICA VS ULTRASSÓNICA - REVISÃO NARRATIVA

[Irrigants Activation in Endodontics: Sonic vs Ultrasonic Irrigation - Narrative Review]

Dissertação de Mestrado

[2018-2024]

João Pedro Santiago Matos

Orientador:

Mestre Miguel Albuquerque Matos

Outubro 2024

Começo por dedicar esta dissertação de mestrado aos meus pais pelos sacrifícios que fazem diariamente por mim, os quais me permitiram ingressar neste curso. Quero, também, demonstrar-lhes o meu apreço pelo apoio que sempre me deram quer na minha vida estudantil quer pessoal. De facto, devo-lhes, não só o fim do meu trajeto académico como também todas as conquistas que lhe estão subjacentes.

Dedico, ainda, esta tese aos meus avós, pelos valores que sempre me inculcaram. São, para mim, um exemplo.

Agradecimentos

Gostaria de iniciar, expressando a minha sincera gratidão ao professor e orientador Miguel Albuquerque Matos, cuja disponibilidade e constante apoio foram essenciais para a realização desta dissertação. A sua orientação foi fundamental em diversas etapas deste trabalho e foi o seu empenho e dedicação que me proporcionaram as condições necessárias para alcançar este objetivo.

Agradeço, mais uma vez, aos meus pais, Luís e Carla, cuja presença e interesse no meu bem-estar diário demonstram que encaram os meus sucessos como as conquistas deles, incluindo a conclusão desta dissertação de mestrado, que reflete todo o suporte que incessantemente me facultaram.

Não posso deixar de manifestar a minha profunda gratidão aos meus irmãos, Nuno, Bruno e Rita, por tudo o que representaram ao longo do meu percurso universitário, bem como pela importância que tiveram, têm e terão ao longo da minha vida.

Aos outros membros da minha família, em particular ao meu tio, Macedo, pela sua constante disponibilidade e acompanhamento imprescindíveis ao longo da minha experiência na Universidade Fernando Pessoa. À minha madrinha, Isabel, dirijo um especial agradecimento pelo auxílio que sempre me facultou, especialmente nesta fase final do meu percurso académico.

Estendo ainda o meu reconhecimento à minha namorada, Beatriz. Deixo um agradecimento profundo por estar sempre ao meu lado, tanto nos melhores momentos, como nos mais desafiantes. A sua presença foi e será, sem dúvida, um pilar fundamental na minha vida pessoal e académica.

Por fim, gostaria de expressar a minha gratidão a todos os meus amigos, cuja presença é crucial no meu dia-a-dia. Sei que posso sempre contar com o vosso auxílio em momentos de necessidade acrescida.

A todos vocês, os meus maiores agradecimentos não só por tudo o que representam na minha vida, mas também por terem sido parte integrante do meu percurso académico, possibilitado que estes últimos anos tenham sido fantásticos.

Resumo

A irrigação é uma etapa fundamental para o sucesso de um tratamento endodôntico não cirúrgico. Promove a limpeza da região canalar não só através da remoção da polpa necrosada e/ou vital, da eliminação de tecido, detritos e microrganismos, bem como através da lubrificação dos instrumentos. Essas funções exigem conhecimento do conceito de biofilme. Uma das bactérias mais comuns na infecção endodôntica é a *E. Faecalis*, que possui capacidade de adesão à dentina, visto que penetra nos túbulos dentinários e em zonas anatómicas complexas. Neste trabalho foi feita uma análise das características dos irrigantes mais utilizados em Endodontia, entre eles o hipoclorito de sódio, que se destaca pela sua capacidade de dissolver matéria orgânica e propriedades antimicrobianas aprimoradas, sendo por isso o irrigante mais utilizado em tratamentos endodônticos. Apesar da cloroheixidina geralmente apresentar níveis de remoção microbiana menos elevados, possui substantividade, permitindo assim uma desinfecção duradoura. O EDTA surge como irrigante complementar a estes, já que é o único com capacidade de eliminar matéria inorgânica e assim erradicar a “smear layer”. A ativação da irrigação permite resultados aprimorados nestes parâmetros, porque a distribuição melhorada de irrigante ao longo do sistema de canais radiculares permite alcançar zonas de difícil acesso aos instrumentos endodônticos e à irrigação convencional sem ativação. Deste modo, o contacto do irrigante com as superfícies canalares é superior e, conseqüentemente, o objetivo de desinfecção da irrigação é melhorado. Dois dos métodos de ativação do irrigante mais comuns são a ativação sónica e a ativação ultrassónica. A irrigação ultrassónica atua em frequências de 25 kHz a 40 kHz, induzindo dois processos: cavitação e fluxo acústico. Com este tipo de irrigação, a desinfecção torna-se superior comparativamente à irrigação convencional, apesar dos riscos de transporte apical, formação de irregularidades e de uma nova “smear layer” devido à remoção descontrolada de dentina. Estes aspetos negativos são reduzidos utilizando irrigação sónica. Apesar de atuar com frequências mais baixas, a cavitação pode ser induzida, já que a sua formação também depende da amplitude, que se verifica mais elevada na irrigação sónica. Necessita de um pré-alargamento canalar demasiado elevado para a sua ponta atuar sem interferências das paredes do canal. No entanto, alguma literatura descreve que o antinodo que este mecanismo gera permite obtenção de uma desinfecção com resultados interessantes a nível apical. Após esta contextualização do tema, o objetivo desta dissertação foca-se em comparar estas duas técnicas, de modo a possibilitar uma avaliação mais informada sobre qual o procedimento mais indicado na prática clínica, respondendo à seguinte questão: «Na ativação de irrigantes em Endodontia, quais são as vantagens e desvantagens da ativação ultrassónica em comparação à ativação sónica?». Os materiais e métodos deste estudo consistiram em pesquisa bibliográfica nos motores de pesquisa «SciELO» e «PubMed», através de 6 palavras-chave. Com estas 6 palavras-chave, realizaram-se 6 combinações de palavras. No final, foram incluídos 60 artigos científicos como referências na execução da dissertação de mestrado apresentada.

Palavras-chave: «Endodontics», «Biofilm», «Irrigation», «Activation», «Sonic» e «Ultrasonic».

Abstract

Irrigation is a fundamental step for the success of nonsurgical endodontic treatment. It promotes the cleaning of the canal area by removing necrotic and/or vital pulp, eliminating tissue, debris, and microorganisms, as well as lubricating the instruments. These functions require knowledge of the concept of biofilm. One of the most common bacteria in endodontic infection is *E. faecalis*, which has the ability to adhere to dentin, penetrate the dentinal tubules and in complex anatomical zones. In this work, an analysis of the most commonly used irrigants in endodontics was conducted, among them sodium hypochlorite, which stands out for its ability to dissolve organic matter and its enhanced antimicrobial properties, making it the most widely used irrigant in endodontic treatments. Although chlorhexidine generally shows lower levels of microbiota removal, it has substantivity, thus allowing for prolonged disinfection. EDTA is used as a complementary irrigant to these, as it is the only one capable of eliminating inorganic material and thereby eradicating the smear layer. The activation of irrigation enables improved results in these parameters, as the improved distribution of irrigant throughout the root canal system allows access to areas that are difficult for endodontic instruments and conventional irrigation without activation to reach. Thus, the irrigant's contact with the canal walls is enhanced, and consequently, the objective of disinfection through irrigation is improved. Two of the most common methods of irrigant activation are sonic and ultrasonic activation. Ultrasonic irrigation operates at frequencies between 25 kHz and 40 kHz, inducing two processes: cavitation and acoustic streaming. With this type of irrigation, disinfection becomes superior comparing to conventional irrigation, despite the risks of apical transportation, ledging, and the formation of a new smear layer due to uncontrolled dentin removal. These negative aspects are reduced using sonic irrigation. Although it operates with lower frequencies, cavitation can still be induced, as its formation also depends on amplitude, which is higher in sonic irrigation. It requires excessive canal enlargement for the tip to function without interference from the canal walls. Although some literature describes that the antinode generated by this mechanism allows for effective disinfection with promising results at the apical level. After this contextualization of the subject, the objective of this dissertation is to compare these two techniques in order to provide a more informed evaluation of which procedure is most suitable for clinical practice, addressing the following question: «What are the advantages and disadvantages of ultrasonic activation compared to sonic activation of irrigants in Endodontics?». The materials and methods of this study consisted of a bibliographic search in the "SciELO" and "PubMed" databases, using 6 keywords. These 6 keywords were used to form 6 word combinations. In total, 60 scientific articles were included as references in the preparation of the presented master's dissertation.

Keywords: «Endodontics» , «Biofilm» , «Irrigation» , «Activation» , «Sonic» e «Ultrasonic».

Índice geral

I- Introdução	1
II- Desenvolvimento	5
1. Materiais e métodos	5
1.1 Estratégia de pesquisa	5
1.2 Critérios de inclusão e exclusão	6
2. Biofilme.....	8
2.1 Enterococcus faecalis	10
3. Irrigantes	13
3.1 Hipoclorito de sódio	15
3.2 Clorohexidina	19
3.3 Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA)	22
4. Ativação do irrigante	23
5. Irrigação convencional	27
6. Irrigação ultrassónica	32
6.1 Irrigação ultrassónica intermitente	38
6.2 Irrigação ultrassónica contínua	39
7. Irrigação sónica	40
7.1 Vibringe	42
7.2 EndoActivator	42
7.3 EDDY	43
8. Discussão.....	47
Conclusão	55
Bibliografia	57

Índice de figuras

Figura 1 - Apresentação de um esquema que sumariza a metodologia de pesquisa efetuada, a fim de obter artigos válidos à realização da dissertação, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão enunciados.	7
---	---

Lista de abreviaturas

MDA: Manual Dynamic Irrigation

PUI: Passive Ultrasonic Irrigation

SI: Sonic irrigation

NaOCl: Hipoclorito de sódio

EDTA: Ácido etilenodiamino tetra-acético

mm: milímetro

mmHg: milímetros de mercúrio

Hz: Hertz

kHz: Kiloherz

PSI: Passive Sonic Irrigation

E. Faecalis: Enterococcus Faecalis

nm: Nanómetro

µm: Micrómetro

CT: Comprimento de trabalho

I- Introdução

Num tratamento endodôntico não cirúrgico (TENC), a desinfecção do canal radicular exige a eliminação total de matéria orgânica e inorgânica (“smear layer”), incluindo a que se origina durante a instrumentação. Deste modo, é possível evitar o desenvolvimento de uma infecção nos tecidos periapicais em torno da raiz do dente ou possibilitar a cicatrização de uma lesão já formada. Essa desinfecção exige trabalhar o canal a fim de obter uma moldagem e limpeza adequadas. Sabendo que os canais radiculares apresentam uma anatomia detalhada e que existem condicionantes na sua instrumentação mecânica, verifica-se que esta desinfecção constitui um procedimento de elevada relevância (Wigler et al., 2024; Gomes et al., 2023).

A anatomia complexa dos canais radiculares pode envolver istmos, canais laterais, anastomoses, ramificações apicais e outras variações anatómicas. Os instrumentos endodônticos não permitem alcançar essas áreas, pelo que a realização de um tratamento sem irrigação satisfatória não irá resultar numa eliminação adequada dos restos de tecido, detritos e microrganismos presentes nesses locais. A presença de bactérias dentro dos túbulos dentinários aumentam a possibilidade de periodontite apical, o que ressalva a importância de efetuar uma irrigação apropriada. Deste modo, a desinfecção canalar permite alcançar resultados desejáveis por um longo período de tempo (Andrade-Junior et al., 2016; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022; Gomes et al., 2023).

Diversas investigações afirmam que, em canais curtos ou circulares, os mecanismos de instrumentação isoladamente, sem o apoio da irrigação, podem deixar entre 10% e 50% do canal radicular não trabalhado na região cervical do dente, valores esses que aumentam no terço apical. Em canais de forma oval ou achatados, esses valores sobem para 10% a 80%. Por outro lado, quando a instrumentação é realizada conjuntamente com a irrigação, verifica-se uma diminuição do número de bactérias de 95 a 99% (Junior et al., 2018).

Outro fator a considerar é que a instrumentação mecânica, ao ser realizada, vai criar uma “smear layer” de 1 a 2 μm de espessura. Essa camada vai ficar agregada ao canal radicular visto que fica introduzida nos túbulos dentinários. Assim, verifica-se uma retenção de bactérias e detritos, o que dificulta uma desinfecção adequada e diminui a qualidade da obturação ao longo do tempo. Tendo em conta que a “smear layer” possui substâncias orgânicas e inorgânicas, recomenda-se a utilização de hipoclorito de sódio, que remove sobretudo tecido orgânico, e EDTA, que eliminará compostos inorgânicos, de modo a conseguir a remoção desta camada (Virdee et al., 2017).

O Médico Dentista tem como intuito a realização de um TENC efetivo, o que, sem uma irrigação adequada, não é possível. A principal função da instrumentação consiste em auxiliar a atuação da solução, uma vez que facilita o seu acesso à zona apical do canal radicular. Posto isto, após a criação das condições necessárias à atuação do irrigante, este passa a ser o elemento que predominantemente realiza a desinfecção. Assim, a irrigação pode ser considerada a etapa principal no processo de desinfecção dos canais radiculares (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

A prioridade da terapia endodôntica consiste na eliminação microbiana do sistema de canais radiculares, visto que estes são responsáveis pelas infeções pulpares. Esta eliminação só é eficaz quando é executada uma preparação biomecânica adequada com a utilização de irrigantes indicados. A aplicação convencional de irrigantes pressupõe a utilização de agulha e seringa. No entanto, verifica-se que a solução atinge apenas 1 a 2 mm além da ponta da agulha. Desta forma, esta extensão não demonstra ser a ideal, uma vez que não alcança os túbulos dentinários em profundidades, bem como as zonas mais apicais. Consequentemente, a realização de uma desinfecção eficiente é impedida. Posto isto, a ativação do irrigante demonstra ser útil na potencialização da eficácia de irrigação (Andrabi et al., 2014; Dadhich et al., 2023; Susila & Minu, 2019).

A irrigação ativada caracteriza-se por permitir uma distribuição de irrigantes mais eficaz ao longo de toda a extensão dos canais radiculares, através da utilização de uma fonte de

energia. Os sistemas de ativação são mecanismos cujo objetivo é maximizar as funções dos irrigantes tanto a nível químico como a nível físico (Andrabi et al., 2014; Susila & Minu, 2019).

Geralmente, quando se efetua uma irrigação sem recorrer à sua ativação, verifica-se que o líquido irrigante apenas abrange o terço coronal ou médio do canal. Por outro lado quando se procede à sua ativação, a área de superfície do canal que contacta com o irrigante é maximizada. Existem diversos métodos que nos permitem realizar a ativação do irrigante e, deste modo, melhorar a sua circulação intra canal. Estes sistemas podem ser manuais (MDA) ou podem consistir em sistemas mecanizados. A agitação dinâmica manual é reconhecida como superior à irrigação clássica com agulha sem qualquer tipo de ativação. Baseia-se em introduzir e remover várias vezes um cone de guta-percha, escovas específicas para o efeito ou limas endodônticas, com cerca de 100 inserções em 60 segundos. Deste modo, enquanto o irrigante é espalhado pelo canal, é possível eliminar o vapor lock (bolha de ar na ponta da agulha) criado com a irrigação convencional. O facto do irrigante ser melhor distribuído leva a uma melhor ação de desinfeção (Andrabi et al., 2014; Gomes et al., 2023; Virdee et al., 2017).

Dentro dos sistemas com o apoio de máquinas, existem 3 categorias principais: a técnica de ativação por laser, o método de ativação do irrigante ultrassónico e ainda o método de ativação do irrigante sónico. O procedimento de ativação por laser consiste na utilização de um laser de érbio contendo cerca de 2940 nm. Esse laser permite transmitir energia sob a forma de laser durante microssegundos, produzindo assim ondas de choque fotoacústicas que permitem a propagação do irrigante ao longo do canal, resultando num aumento da eficiência do irrigante e consequente desinfeção mais completa (Hage et al., 2019).

O método de ativação do irrigante ultrassónico envolve a inserção de um dispositivo dentro do canal radicular que irá vibrar e, deste modo, criar ondas ultrassónicas com frequências entre 25 000 e 40 000 Hz. Após a produção destas ondas, é criado o efeito

de cavitação, onde são formadas bolhas de ar que vão colidir imediatamente após a sua conceção, originando uma pressão devido ao vácuo que se desencadeia. Essa imensidão de variações de pressão origina um fluxo de irrigante que permite potenciar o efeito desta solução e levar a uma limpeza canalar mais eficiente. Posto isto, são necessárias precauções dada a possibilidade de grande destruição dentinária, que inclusivamente pode levar à criação de uma nova “smear layer”. Por sua vez, a ativação sónica consiste na utilização de um instrumento que também é introduzido no canal. A sua oscilação apresenta frequências entre 20 e 20 000 Hz, criando vibrações subsónicas ou sónicas, o que resulta numa melhor circulação de irrigante e melhorando, assim, a capacidade de desinfeção canalar. Se utilizado corretamente, esta ativação pode potenciar ações que seriam de difícil execução sem este equipamento. Entre elas, destacam-se a penetração de irrigante em canais laterais e istmos, bem como a eliminação de colónias bacterianas (biofilmes) e “smear layer”. Esta ativação é considerada segura, não danificando as paredes do canal devido à existência de pontas de polímeros lisas e não cortantes, ao contrário da irrigação ultrassónica (Dadhich et al., 2023; Gomes et al., 2023; Hage et al., 2019).

Posto isto, é possível verificar que a ativação do irrigante é essencial na melhoria da distribuição destas soluções ao longo do complexo sistema de canais radiculares. A importância da irrigação na realização de um tratamento endodôntico bem sucedido e a influência da ativação nesta etapa, motivou a realização da presente dissertação de mestrado, cujo objetivo envolve a contextualização do tema e, seguidamente, abordar as técnicas de ativação ultrassónica e sónica. Deste modo, possibilita-se a aprofundamento do conhecimento destas técnicas e, conseqüentemente, responder à seguinte questão: “Na ativação de irrigantes em Endodontia, quais são as vantagens e desvantagens da ativação ultrassónica em comparação à ativação sónica?”.

II- Desenvolvimento

1. Materiais e métodos

1.1 Estratégia de pesquisa

Considerando o tema eleito para a realização da dissertação, realizou-se uma cuidadosa procura entre fevereiro e setembro de 2024, nas plataformas de pesquisa PubMed e Scielo, que englobou seis palavras-chave: «Endodontics» , «Biofilm» , «Irrigation» , «Activation» , «Sonic» e «Ultrasonic».

Estas palavras-chave foram agrupadas através da utilização do conector lógico «AND» e, deste modo, estabeleceram-se seis combinações de palavras que, após serem inseridas nas plataformas de busca anunciadas, resultaram num total de 1559 artigos científicos. Esse número de artigos encontrava-se dividido desta forma nas seis associações de palavras deste modo:

Combinação 1: «Endodontics» AND «Irrigation» AND «Activation». A pesquisa desta combinação resultou em 540 artigos científicos na PubMed e 7 na Scielo, totalizando assim 547 artigos científicos.

Combinação 2: «Endodontics» AND «Ultrasonic» AND «Activation». A combinação número 2 permitiu encontrar 281 artigos científicos na PubMed e 11 na Scielo, somando assim 292 artigos científicos.

Combinação 3: «Endodontics» AND «Sonic» AND «Activation». Foram identificados 109 artigos científicos na PubMed e 1 artigo científico na Scielo, reunindo 110 artigos científicos.

Combinação 4: «Endodontics» AND «Irrigation» AND «Biofilm». Esta busca detetou 208 artigos científicos na PubMed e 1 na Scielo, resultando em 209 artigos científicos.

Combinação 5: «Endodontics» AND «Biofilm». A associação das palavras referidas levou a encontrar 319 artigos científicos na PubMed e 9 na Scielo, compilando assim 328 artigos científicos.

Combinação 6: «Endodontics» AND «Ultrasonic» AND «Sonic» AND «Activation». Por fim, esta última associação convergiu em 72 artigos científicos na PubMed e 1 artigo na Scielo, verificando-se assim a existência de 73 artigos científicos.

Perante o total de 1559 artigos científicos contabilizados, foi executada a remoção de artigos duplicados dentro da plataforma de pesquisa e entre plataformas, resultando num total de 892 artigos. Verificaram-se os artigos que se enquadravam nas normas impostas pelos critérios de inclusão e exclusão e procedeu-se à leitura dos respetivos títulos, realizando uma seleção dos artigos científico cuja designação se adequava à temática da dissertação em elaboração. Após leitura dos resumos dos 117 artigos selecionados, concluiu-se que 71 se enquadravam no âmbito da realização da dissertação. Por fim, foram utilizados 60 desses artigos científicos, tendo sido considerados os mais adequados ao contexto apresentado na dissertação.

1.2 Critérios de inclusão e exclusão

São critérios de inclusão estudos que apresentam conhecimento importante no enquadramento da ativação de irrigação, artigos que estudem a ativação de irrigação, bem como artigos que esclareçam o funcionamento, indicações e protocolos das ativações sónica e ultrassónica e, ainda, estudos comparativos das diferentes técnicas de ativação de irrigante. Estes artigos poderão ser revisões narrativas e sistemáticas, bem como meta-análises, ensaios clínicos e estudos *in vitro*.

Os critérios de exclusão englobam artigos com limite temporal superior a 10 anos e artigos que não estejam disponíveis na língua portuguesa ou inglesa.

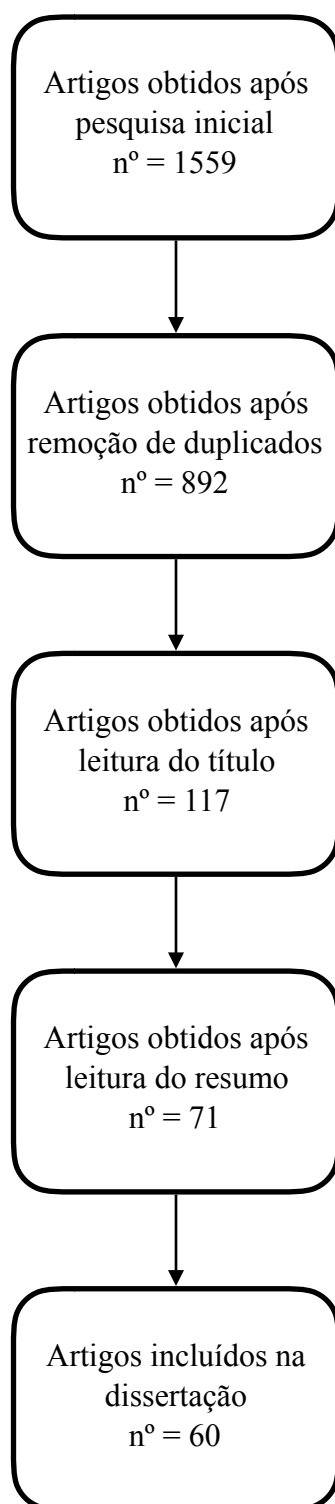


Figura 1 - Apresentação de um esquema que sumariza a metodologia de pesquisa efetuada, a fim de obter artigos válidos à realização da dissertação, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão enunciados.

2. Biofilme

De modo possibilitar o entendimento da função do irrigante e da sua ativação, é necessário entender o conceito de biofilme. Este conhecimento permite ainda a evolução da análise e observação de diferentes tipos de biofilme, para fins de estudo em Medicina Dentária, mais concretamente no ramo da Endodontia. Por conseguinte, permite superar os métodos de resistência antibacterianos existentes num biofilme oral (Garg et al., 2021).

A definição de biofilme é reconhecida como uma comunidade microbiana tridimensional sem capacidade de locomoção, multicelular e com bactérias que possuem variados potenciais patogénicos. É identificado por células firmemente fixas a uma superfície e retidos numa rede extracelular polimérica produzida pelo próprio biofilme, que contém canais que permitem a distribuição de substâncias (Choi et al., 2018).

Usualmente a dimensão do biofilme encontra-se entre 10–30 nm. Relativamente à sua constituição, cerca de 5 a 35% é composto por microrganismos, ao passo que o remanescente é matriz extracelular, que contém proteínas na sua constituição. A captação de nutrientes e minerais, existentes no meio envolvente ao biofilme, é possível através de um sistema gerado pela matriz extracelular (Jamal et al., 2018)

Esta rede extracelular e o facto do biofilme se fixar a alguma área, levam a que este se torne bastante mais resiliente perante algum ataque. Torna-se bastante mais difícil a sua eliminação, sendo o biofilme considerado entre 2 e 1000 vezes mais imune relativamente aos mesmo microrganismos livres no ambiente, sem adesão a uma superfície. Grande parte da origem das lesões pulpares, cáries e lesões periodontais derivam de microrganismos ou de microflora (Choi et al., 2018; Jhajharia et al., 2015; Neelakantan et al., 2017).

As bactérias promotoras desses problemas de saúde conseguem formar biofilmes em diferentes superfícies e tecidos orais. Posto isto, conclui-se que o essencial para evitar

doenças frequentes na cavidade oral é a regulação do biofilme oral, sendo que no caso dos problemas endodônticos, o objetivo passa pela eliminação de biofilme nos canais radiculares. Esta eliminação é executada através de um mecanismo mecânico e químico, com a utilização de instrumentos mecânicos adaptados para o efeito e com produtos químicos com função de desinfecção, sendo estes irrigantes e medicação intracanal. O método para obter uma limpeza adequada exige o aumento do diâmetro do canal radicular através da realização da instrumentação. A desinfecção do canal utiliza irrigantes e, eventualmente, medicação intracanal. Assim, verifica-se uma eliminação do biofilme e microbiota correspondente, dos tecidos remanescentes, vivos ou necrosados, tal como a remoção da “smear-layer”. Esta última é criada durante a instrumentação do canal radicular. Não sendo possível a remoção total de microbiota, é pretendido a sua eliminação ao ponto de permitir ao hospedeiro ter uma resposta imunológica suficiente para a recuperação ser completa (Choi et al., 2018; Neelakantan et al., 2017).

Após ser realizada uma tentativa da eliminação microbiana, a sua resistência é a causa mais frequente que leva à falha do tratamento do canal radicular. Todas as áreas com existência de fluidos que possuem nutrientes, são passíveis de desenvolver biofilme por ação bacteriana. No caso de biofilme nos canais radiculares, este inicia-se após exposição da câmara pulpar aos microrganismos. A sua formação assenta em 3 pilares: existência de uma superfície firme, um fluido e células bacterianas. Esses 3 pilares irão permitir a execução das 3 fases para o seu desenvolvimento: A criação de uma película de condicionamento bacteriano, a adesão de bactérias a esta película com o apoio de adesina e, por último, a progressão bacteriana e aumento do próprio biofilme. Um biofilme possui 4 propriedades principais: 1) A capacidade de auto-organização; 2) A resistência a interferências ecológicas; 3) A eficiência do biofilme deve ser superior relativamente à sua microbiota individualmente; 4) A sua reação a alterações ecológicas deve ser realizada em comunidade (Jhajharia et al., 2015).

Numa flora oral é possível observar a existência de mais de 1000 espécies bacterianas. Admite-se que com a utilização de procedimentos avançados, poderá ser possível identificar mais. Falando particularmente de zonas sujeitas a procedimentos

endodônticos, observou-se que, em amostras dentárias retiradas desses locais, existe um número superior a 400 espécies. Em infecções primárias são analisadas uma grande variedade de espécies. Nas infecções persistentes averiguou-se que essa diversidade era reduzida. A microbiota bacteriana presente no interior de um canal radicular é primeiramente composta por aeróbios e anaeróbios facultativos. Apesar do destaque bacteriano, é possível, eventualmente, observar outros organismos em infecções endodônticas, como arquea e fungos (Choi et al., 2018; Jhajharia et al., 2015).

Perante todos os microrganismos que constituem a formação de um biofilme, a bactéria *Enterococcus Faecalis* é a mais frequentemente estudada em modelos relacionados com Endodontia, devido à sua grande capacidade de formação de biofilmes (Garg et al., 2021; Jhajharia et al., 2015).

2.1 *Enterococcus faecalis*

A *Enterococcus Faecalis* é uma bactéria anaeróbia facultativa, gram-positiva e com origem em bactérias comensais. Este microrganismo pode existir em várias zonas do corpo humano. Alguns desses locais apresentam uma quantidade reduzida de oxigénio. Sobrevivem a um ecossistema bastante elaborado com zonas de elevada concentração de nutrientes, como a cavidade oral, a vagina e o trato intestinal. Podem desenvolver-se isoladamente ou em biofilme, participando em reações com um grande espectro bacteriano. Desta forma é garantida uma maior segurança à bactéria perante condições pouco favoráveis, sejam elas ambientais, imunológicas ou farmacológicas (Alghamdi & Shakir, 2020; Yang et al., 2024; Zhang et al., 2015) .

As bactérias da espécie *Enterococcus* existem frequentemente em meio hospitalar. 14,7% das infecções que necessitam de cuidados médicos em indivíduos adultos advêm de *Enterococcus*. Além de serem conhecidas pela sua grande capacidade de formar biofilme, a sua resistência a antibióticos também é notável, nomeadamente à vancomicina. Existem registos da presença de *Enterococcus* nos mais variados

problemas de saúde, entre eles periodontais, urinários, feridas, intravasculares e até do trato respiratório inferior (Schiopu et al., 2023).

Relativamente à *Enterococcus Faecalis* em específico, é importantíssimo realçar que esta bactéria pode ser responsável ou contribuir para a existência de doenças potencialmente fatais, entre elas a infeção do trato urinário, meningite e endocardite infecciosa (Yang et al., 2024).

Apesar do seu poder infeccioso, a flora comum gastrointestinal da espécie humana inclui a presença de *E. Faecalis*, que também se encontra presente noutros animais. A utilização de antibióticos erradica as bactérias suscetíveis e permite que as resistentes continuem a progredir e aumentar em número. Mais de 25% dos genes de *E. Faecalis* são elementos adquiridos, entre eles elementos que conferem resistência a antibióticos. Deste modo, verifica-se a necessidade de utilização de tratamentos alternativos. Um tratamento substituto possível, é a inibição de sistemas de deteção de *quorum*, que é o meio de comunicação bacteriano, através da utilização de moléculas de sinalização, denominadas autoindutores. (Ali et al., 2017)

E. Faecalis é um dos microrganismos que promove mais infeções na zona dos canais radiculares. Apesar da sua existência em infeções primárias, é nas infeções persistentes que se destaca mais a presença destas bactérias, dado aos fatores de virulência e de sobrevivência que possuem. Esta bactéria está presente em cerca de 90% das infeções secundárias que despoletam desconforto e doença infecciosa no indivíduo. É também regularmente encontrada em infeções endodônticas secundárias assintomáticas. Além de ser a principal causa de infeções secundárias, é ainda o principal motivo de tratamentos endodônticos insatisfatórios. Por isso, a sua erradicação além de essencial ao tratamento e retratamento bem sucedido, também constitui um procedimento de elevada dificuldade. Essa complicação aumenta quando esta bactéria está associada a um biofilme aderido a zonas anatómicas complexas como istmos, deltas apicais e canais laterais. Nesses locais, existe uma maior quantidade de tecido e restos radiculares que

exigem um esforço adicional para a sua remoção (Alghamdi & Shakir, 2020; Hage et al., 2019; Yang et al., 2024).

O índice de identificação de *E. Faecalis* na saliva localiza-se entre os 18,8% e os 40,5%. Esta saliva contaminada pode ser uma explicação possível para a persistência desta bactéria nos canais radiculares, após a execução de um tratamento endodôntico. Existe uma relação positiva entre a presença de periodontite e a quantidade de *E. Faecalis* em boca. Esta associação identifica que a génese da presença de *E. Faecalis* nos canais radiculares pode advir da cavidade oral. Estes factos apoiam e demonstram a importância da utilização de isolamento absoluto aquando da realização de um tratamento endodôntico. O isolamento impede não só a contaminação entre o Médico e o paciente, mas também dentro do próprio organismo do paciente (Zhang et al., 2015).

A literatura verifica que existe uma maior associação entre a *E. Faecalis* e infeções intrarradiculares secundárias, relativamente à presença da mesma bactéria na periodontite apical crónica não reabilitada. *E. Faecalis* tem a capacidade de aderir à dentina e penetrar para o interior dos túbulos dentinários, o que dificulta a sua remoção. Adicionalmente, possui a potencialidade de modificar a resposta do indivíduo, impedindo a sua atividade linfocitária (Hage et al., 2019).

Essa capacidade de penetrar para o interior dos túbulos dentinários pode atingir até aos 250 µm, o que, em parte, pode explicar a resistência aos líquidos irrigantes (Dumani et al., 2016).

E. faecalis é um biomarcador deveras estudado. Diversas investigações verificaram que a *E. faecalis* possui uma elevada resistência a antimicrobianos e, conseqüentemente, ao tratamento endodôntico. A sua capacidade de sobrevivência perante condições adversas é notável, sendo que estas bactérias conseguem sobreviver perante ambientes com muita ou pouca capacidade nutritiva durante um longo período de tempo, comparativamente a

outras bactérias. Tal pode ser explicado pelo facto de produzir estruturas típicas de um biofilme e de células bacterianas em casos de existir uma alta taxa nutritiva. Caso contrário, crescem de forma irregular com aglomerados de bactérias aderentes. Sobrevivem ainda em ambientes com pH muito alcalino, resistindo até em pH de 11,5. Esta situação é particularmente comprometedora a nível endodôntico, visto que a *E. Faecalis* sobrevive perante a aplicação de hidróxido de cálcio, que é uma das medicações intracanales mais utilizadas na prática clínica. A sua sobrevivência perante adversidades pode ser explicada pela capacidade de usar vias metabólicas alternativas, como a bomba de prótons da membrana citoplasmática que permite a manutenção do equilíbrio no citoplasma (Alghamdi & Shakir, 2020; Hage et al., 2019; Yang et al., 2024).

Uma instrumentação acompanhada por uma irrigação adequadas é capaz de reduzir muito a carga bacteriana, mas não consegue eliminar a *E. Faecalis* por completo dos canais radiculares, independentemente da técnica de irrigação a utilizar. No entanto o tratamento depende da maior eliminação bacteriana possível, sendo que os irrigantes mais utilizados para erradicar o biofilme são o hipoclorito de sódio (NaOCl) e a cloroheixidina. O NaOCl pode ser usado com diferentes concentrações e destaca-se pela sua capacidade antibacteriana e de dissolução de tecido orgânico, apesar de possuir alguma toxicidade e potencial irritação periapical. Por sua vez a cloroheixidina, além de ser antibacteriana, possui menos toxicidade. No entanto, não permite dissolver material orgânico (Alghamdi & Shakir, 2020; Hage et al., 2019; Yang et al., 2024).

3. Irrigantes

A irrigação é crucial ao sucesso de um tratamento endodôntico. Entre as suas finalidades, destacam-se: a diminuição do atrito entre o canal e o instrumento utilizado na instrumentação; o aprimoramento da eficiência de corte das limas; a dissolução de tecido orgânico e inorgânico; a diminuição de temperatura do meio e, no caso de irrigantes ativos, o efeito antimicrobiano. Apenas através da irrigação se pode atuar nas zonas do canal radicular não manipuladas aquando da instrumentação mecânica. Neste

sentido, é frequentemente considerada a etapa mais importante na realização de um tratamento endodôntico. É importante realçar que nenhum irrigante possui uma capacidade de realizar todos os objetivos atribuídos à irrigação com completa eficácia, pelo que, na realização das atividades clínicas, é essencial a utilização de diversos irrigantes. Deste modo, consegue-se obter uma maior probabilidade de sucesso no tratamento e por um grande período de tempo. Quando os irrigantes são usados adequadamente, a “smear layer” pode ser facilmente eliminada. Contrariamente, as zonas anatomicamente mais complexas do canal, onde a lima não consegue atuar, e outras zonas que não tenham sido atingidas pela instrumentação, são locais de difícil acesso. Estas áreas possuem biofilmes e restos de tecido que apenas poderão ser removidos por irrigantes. É necessário destacar a zona apical dos canais radiculares, pelo seu acesso dificultado. São necessários cuidados de segurança para evitar o extravasamento de líquido do canal pelo ápice, que pode resultar em consequências danosas para os tecidos periapicais do paciente. (Haapasalo et al., 2014).

É possível dividir os irrigantes em duas categorias de destaque: Irrigantes inertes ou inativos e irrigantes ativos. Os irrigantes inativos têm uma função meramente de lavagem, sem realização de uma intervenção química. Apesar de não existir uma ação química, a utilização deste grupo de líquidos resulta sempre numa diminuição de carga microbiana no canal radicular, devido à ação mecânica de fluxo e refluxo inerentes à irrigação. Os irrigantes inertes de eleição são a água destilada e uma solução salina. Apesar da maioria das bactérias presentes nos canais radiculares possuir uma parede celular, os irrigantes inertes conseguem provocar uma lise celular nas bactérias sem esta parede. A água destilada não reage com alguns dos irrigantes ativos mais utilizados. Irrigantes como a clorhexidina e o hipoclorito de sódio podem formar precipitados nocivos entre si, que podem servir como barreira à obturação. A água destilada desempenha um papel adequado para efetuar uma lavagem entre irrigantes que permita remover pequenos restos do primeiro líquido, antes da utilização do segundo. Apesar de os irrigantes inertes não serem vistos como irrigantes principais, visto que não têm capacidade de absorver tecido, nem possuem ação antimicrobiana, é de realçar que uma solução salina, quando ativada, forma mais bolhas do que a água doce, pelo que, ao

contrário da água destilada, a sua ativação leva a uma maior remoção de bactérias suspensas, não aderidas a biofilmes. A solução salina parece portanto indicada para a realização de testes de redução de bactérias em Endodontia como grupo controle. Por outro lado, os irrigantes ativos são líquidos com capacidade de dissolver tecido, e possuem características bactericidas ou bacteriostáticas, bem como uma ação quelante. (Gomes et al., 2023).

Entre as consequências da irrigação, destacam-se três categorias: 1) Resultados químicos, que envolvem a remoção de restos dentinários, dissolução de tecido orgânico e inorgânico e também a eliminação da “smear layer”. 2) Efeitos mecânicos, nomeadamente a lubrificação do canal radicular e eliminação de substâncias do canal, através da ação mecânica de fluxo e refluxo de irrigação. 3) Existem ainda impactos biológicos, através da eliminação de bactérias, inativação de fatores de virulência bacteriana (endotoxinas) e eliminação de biofilme. Apenas os irrigantes ativos são capazes de ter uma influência positiva nestes três aspetos, visto que, como vimos anteriormente, os irrigantes inertes não conseguem ter uma resposta química e a resposta biológica será, por isso, mais incompleta. Atualmente, independentemente do método de irrigação e sua respetiva ativação, os irrigantes ativados com maior aplicação são o hipoclorito de sódio (NaOCl), entre 0,5% e 6%, a clorhexidina a 2% e o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA). O hipoclorito de sódio é visto como o irrigante mais adequado pela sua capacidade antimicrobiana após a sua utilização. Já a clorhexidina é um bom substituto ao hipoclorito de sódio porque, apesar dos níveis antimicrobianos momentâneos não se apresentarem tão eficazes, um aspeto positivo é a existência de efeito antimicrobiano duradouro. Sabendo que atualmente é inexistente um irrigante com características perfeitas, opta-se por utilizar vários irrigantes ativados para uma resposta mais completa (Prada et al., 2019).

3.1 Hipoclorito de sódio

Apesar de alguma literatura relatar capacidade de dissolver tecido acrescida com o aumento da sua concentração, a toxicidade também aumenta. Existem casos de irritações tecidulares periapicais aquando do uso de concentrações de 5,25%. A

interação com a dentina também aumenta, diminuindo a sua elasticidade, enquanto que a 0,5% isso não se verifica. Estudos observaram que, em concentrações de 1%, todo o tecido pulpar é dissolvido com apenas uma intervenção, pelo que não é necessário utilizar concentrações superiores. Uma maneira de reduzir esta toxicidade, quer do hipoclorito de sódio, quer da clorohexidina, é aquecer o irrigante, o que aumenta a sua função, e, deste modo, é possível usar concentrações menores. O aquecimento de 5 graus Celcius duplica a atividade do hipoclorito de sódio e aumenta a capacidade de remover vestígios dentinários (Rahimi et al., 2014).

Embora o efeito bactericida já se revele no uso de hipoclorito de sódio com concentração de 0,5%, é necessário no mínimo 1% de concentração para diluir tecido orgânico. Confirmou-se neste estudo que o aumento da temperatura favoreceu o hipoclorito de sódio em concentrações de 1%, e que esta substância com concentração de 2,6% a 37 graus Celcius é igualmente eficiente em relação a concentrações de 5,2% a 22 graus Celcius. Esta elevação de 15 graus Celcius impulsiona a atividade do hipoclorito de sódio já que a sua viscosidade diminui e, conseqüentemente, a sua mobilidade aumenta. Posto isto, a capacidade de eliminar tecido também irá crescer. (Chu et al., 2023; Darcey et al., 2016).

Uma investigação concluiu que o aumento de concentração ou de tempo de exposição do hipoclorito de sódio nos canais aprimorava a sua eficácia. Também foi analisado que, quando esta solução era colocada durante um maior período de tempo no canal e em menores concentrações, a penetração nos túbulos dentinários era equivalente à profundidade obtida com concentrações mais elevadas (Virdee et al., 2020).

A diversidade alargada de microbiota que o hipoclorito de sódio é capaz de combater engloba biofilmes mais complexos e de difícil perturbação como *Enterococcus* e *Candida*. De notar que este irrigante também possui capacidade esporicida. Algumas vantagens deste irrigante são o seu baixo custo de aquisição, a simplicidade de obtenção e o seu elevado tempo de vida útil. Na temperatura do corpo humano, o cloro pode

encontrar-se como ácido hipocloroso (HOCl) em valores de pH inferiores a 7,6, ou sob forma de hipoclorito (OCl), em pH superior a 7,6. O irrigante de hipoclorito, habitualmente usado na prática clínica, possui um valor de pH de 12, pelo que verificamos que o cloro se encontra expresso como hipoclorito. Tendo em conta que o ácido hipocloroso apresenta mais bactericididade do que o hipoclorito, quando exposto nas mesmas circunstâncias, uma alternativa para elevar a capacidade desta solução é baixar o seu pH utilizando um líquido com bicarbonato a 1%, diminuindo, deste modo, a sua toxicidade para tecidos vivos. A grande contraindicação a esta redução de pH é que o irrigante criado é extremamente instável, resultando num tempo de vida útil menor que uma semana (Rahimi et al., 2014).

O hipoclorito de sódio é um irrigante que, utilizado na prática clínica, possui uma capacidade antimicrobiana elevada, com amplo espectro de dissolução de matéria orgânica. Não obstante, é necessário ter em consideração que, quando o líquido se dirige para o tecido perirradicular, apresenta uma toxicidade elevada, uma sintomatologia marcada, sendo incomodativo ao nível do olfato e do paladar e pode, ainda, danificar metais e o vestuário. Deve-se, portanto, tentar que o irrigante alcance uma área o mais próximo possível do ápice radicular, evitando que o ultrapasse. Uma grande desvantagem do hipoclorito de sódio é a reação com a camada de dentina. Esta interação afeta as suas propriedades mecânicas e a sua relação inorgânica / orgânica dentinárias. Outra grande debilidade deste irrigante é a sua incapacidade de eliminação dos elementos inorgânicos e restos de tecido duro da “smear layer”. Vários estudos afirmam que, contrariamente ao dito anteriormente, o hipoclorito de sódio, em concentrações de 1,3% e 2,5%, não é capaz de eliminar a carga microbiana (Boutsioukis & Arias Moliz, 2022 ; Tonini et al., 2022).

Outro estudo não tira conclusões tão ousadas, no entanto, reforça que o hipoclorito com concentrações mais elevadas possui um efeito mais completo do que em concentrações de 1% e 2%. Neste estudo afirma-se ainda que a utilização de EDTA, após colocar hipoclorito de sódio, é essencial para remoção da “smear layer”, não esquecendo que

deve ser utilizada uma solução inativa entre estes dois irrigantes (Haapasalo et al., 2014).

Conclui-se, portanto, que a perspectiva do aumento da concentração do NaOCl levar à promoção de melhores resultados, ainda é um fator bastante debatido. Um aumento de concentração não leva inevitavelmente a uma melhor penetração de irrigação no canal. Apesar dessa variável ser amplamente contestada, é consensual na evidência científica que a duração, volume e número de vezes que a solução é utilizada, influenciam a eficiência do hipoclorito de sódio (Gonçalves et al., 2016).

Frequentemente as reações adversas provocadas por este irrigante são vistas como efeitos colaterais. Tal verifica-se não só porque o irrigante está a ser utilizado em reações não pretendidas (como a alteração dentinária) mas também pelas consequências dessas mudanças, como o facto da adaptação dos materiais de obturação no canal radicular poder ser comprometida. Ainda pode ocorrer um escurecimento dentário aquando da utilização de irrigantes. Uma característica de um irrigante ideal seria a ausência de efeitos adversos locais e sistémicos, sobretudo se o irrigante for de fácil obtenção e financeiramente acessível (Boutsioukis & Arias Moliz, 2022).

O hipoclorito de sódio contém na sua constituição cloro e oxigénio. O oxigénio vai erradicar bactérias anaeróbias. Por sua vez, o cloro ataca uma ampla diversidade microbiana, envolvendo vírus e fungos, e permite a dissolução de restos orgânicos e polpa necrótica. A grande utilização de hipoclorito de sódio justifica-se com o facto de ser a única solução capaz de eliminar biofilmes e eliminar preferencialmente tecidos necróticos relativamente a tecidos vitais. (Kim & Shin, 2017; Zollinger et al., 2019).

O hipoclorito de sódio, embora a sua ação antimicrobiana seja bastante intensa, não possui capacidade de ação antimicrobiana residual, ou seja, o seu efeito não se prolonga ao longo do tempo (substantividade). Não obstante esse aspeto negativo, é o irrigante

com maior capacidade de eliminar biofilme composto por *E. Faecalis* (Jhajharia et al., 2015).

Um estudo, após a análise de 48 artigos e sua respetiva comparação, sugere que a irrigação seja realizada com o hipoclorito de sódio a 2,5% e EDTA a 17% como irrigantes principais de modo a obter o protocolo de irrigação mais eficiente na eliminação da bactéria *E. Faecalis* (Prada et al., 2019).

Existem estudos que reforçam a importância de uma substância com potência antimicrobiana, tal como o hipoclorito de sódio, na desinfeção canalar. Essas investigações relatam que a utilização do hipoclorito de sódio a 2,5%, conjuntamente com a instrumentação, permite a diminuição do número de bactérias em 102 a 105 vezes, com um decréscimo entre 95% e 99% relativamente ao estado do canal radicular pré tratamento. Nessa análise, verificou-se que a clorohexidina usada como irrigante principal apresentou resultados semelhantes. Em ambas as soluções, dentes com periodontite apical reduziam bastante a eficácia antimicrobiana (Junior et al., 2018).

3.2 Clorohexidina

Verifica-se, então, que a clorohexidina é outra opção a avaliar. Esta solução praticamente não contém qualquer cor ou odor, podendo ser considerada um antisséptico de eleição. Depois da sua utilização, é expelida com simplicidade do canal após aplicação de água destilada. Contudo, a clorohexidina sob forma de gel beneficia a lubrificação canalar, reduzindo a probabilidade de fratura da lima endodôntica. Ainda que a clorohexidina não dissolva tecido orgânico, a forma de gel aumenta a sua remoção mecânica. A clorohexidina também permite uma instrumentação eficiente, com produção de “smear layer” diminuta e com poucos túbulos dentinários bloqueados. O modo de aplicação ao longo da instrumentação baseia-se na colocação de 1 ml de clorohexidina antes da inserção do instrumento no canal. No final, uma lavagem com 5 ml de água destilada permite a eliminação de clorohexidina. Antes de colocar qualquer

outro irrigante, será necessário fazer uma limpeza final, através da inserção de 10 ml de água destilada no canal (Gomes et al., 2023).

Diversos clínicos procedem à execução de tratamentos endodônticos com o uso de cloroheixidina, devido à sua capacidade antimicrobiana duradoura, que pode perdurar por dias ou semanas, impossibilitando, assim, a existência de reinfeções no canal. Outro fator positivo da aplicação desta solução é o facto de não reagir ao nível da dentina, como faz o hipoclorito de sódio. Posto isto, verifica-se que é um irrigante mais compatível ao nível dentinário. A cloroheixidina origina, também, uma menor reação tecidual. Estas características poderiam levar a que a cloroheixidina fosse o irrigante principal mais utilizado. Todavia, ao contrário do hipoclorito de sódio, a sua capacidade de quebra de biofilmes mais complexos e de dissolução do tecido pulpar é questionável e menor que a do NaOCl. Outro aspeto negativo, verificado num estudo, deve-se ao facto de, apesar da durabilidade do efeito da cloroheixidina a longo prazo, o seu efeito ser reduzido ao longo do tempo, visto que a sua capacidade de se inserir num biofilme vai diminuindo. Estima-se que seja necessária a utilização de cloroheixidina 2% para uma eliminação microbiana tão eficaz como hipoclorito de sódio 1% (Tonini et al., 2022).

A restrição mais relevante relativamente ao uso da cloroheixidina enquanto irrigante de eleição é a sua ausência de potencial de dissolução de tecido pulpar (Gonçalves et al., 2016).

No entanto, a cloroheixidina possui vantagens, como a presença de características que permitem reduzir a adesão de algumas espécies bacterianas à dentina (Jhajharia et al., 2015).

Este irrigante é bacteriostático a concentrações de 0,2%, mas a 2% passa a ser bactericida. A mistura de cloroheixidina com hipoclorito de sódio não pode, de todo, ser realizada, visto que existe a formação de um precipitado cancerígeno, denominado

paracloroanilina. Esse precipitado pode ainda provocar manchas dentárias e impermeabiliza o canal e os seus respetivos túbulos dentinários. Não obstante a mistura destes irrigantes ser especialmente tóxica para um indivíduo, a combinação de irrigantes ativos em geral deve ser, normalmente, desconsiderada (Darcey et al., 2016).

A clorohexidina é um irrigante com características antissépticas fortes. Relativamente à sua aplicabilidade, pode ser usada como irrigante em Endodontia ou para fins de colutório oral, consoante a sua concentração que, após a análise de algumas investigações, se verifica encontrar pelos 2% e 0,1 a 0,2%, respetivamente. Apesar da clorohexidina ser frequentemente estudada como menos tóxica, este irrigante a uma concentração de 2% provoca irritações na pele. É bastante utilizado ao nível da irrigação final, no entanto, a sua defesa como irrigante durante a fase quimiomecânica de um tratamento endodôntico não é consensual. A falta de entendimento deve-se à incapacidade desta solução dissolver tecido necrótico e não ser tão competente na eliminação de bactérias gram-negativas. Outro problema associado é a ausência de eficiência na neutralização de endotoxinas libertadas pelas bactérias. Pode ser usada como medicação intracanal por cerca de 3 a 5 dias na forma de gel, nomeadamente em casos de impossibilidade de obturação por falta de disponibilidade temporal. Mesmo perante a existência de sangue, consegue manter capacidade antimicrobiana. Além do precipitado cancerígeno provocado pela interação de clorohexidina e hipoclorito de sódio, o contacto de clorohexidina e EDTA leva à formação de um precipitado esbranquiçado que cobre os túbulos dentinários e afeta, deste modo, a qualidade da obturação canal (Rahimi et al., 2014).

Em suma, analisando as principais características diferenciadoras do hipoclorito de sódio e da sua alternativa, a clorohexidina, o primeiro permite a capacidade de dissolução de tecidos, tem um espectro e potência antimicrobiana elevada. Todavia, a sua toxicidade tecidual periapical é bastante elevada. Por sua vez, a clorohexidina, apesar de não dissolver tecidos orgânicos, possui substantividade, o que confere um benefício à desinfeção canal (Gonçalves et al., 2016).

O procedimento endodôntico até à fase de obturação, permitiu sempre a neutralização de algumas endotoxinas relativamente ao canal não tratado. A utilização de hipoclorito de sódio como irrigante durante a instrumentação permitiu uma redução mais elevada de endotoxinas relativamente à escolha de clorhexidina como solução para o tratamento (Neelakantan et al., 2018).

3.3 Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA)

Aquando da execução da instrumentação mecânica, uma camada de cerca de 1 a 2 μm de grossura de “smear layer” é formada. Esta é constituída por fragmentos de dentina e de tecido orgânico e inorgânico. A presença de “smear layer” é negativa para a eficácia do tratamento endodôntico, já que retém microbiota no canal, nomeadamente nos túbulos dentinários, e bloqueia o acesso dos irrigantes a essas mesmas zonas. Deste modo, a função antimicrobiana da irrigação fica comprometida e, assim, proporciona menos desinfeção, o que torna mais provável a recontaminação. Desse modo, a “smear layer” tem que ser eliminada através da utilização de irrigantes (Kim & Shin, 2017).

Apesar do hipoclorito de sódio permanecer como o irrigante principal mais selecionado na prática clínica, a sua ação necessita de ser complementada por uma solução quelante (Boutsioukis & Arias Moliz, 2022).

Uma solução quelante tem como objetivo principal a eliminação da “smear layer” provocada pelas limas endodônticas, aquando da realização da instrumentação mecânica. Algumas alternativas, como o ácido maleico, foram sugeridas por permitirem uma melhor remoção da “smear layer” no terço apical, por possuírem uma capacidade de atividade antibacteriana e, ainda, pela sua menor toxicidade. Porém, o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) é o agente irrigador quelante mais utilizado na prática clínica (Jhajharia et al., 2015).

O EDTA é um agente quelante, logo o seu objetivo passa por eliminar os componentes inorgânicos. Além de permitir remover a “smear layer”, também permite preparar o canal para uma posterior obturação. Se o paciente apresentar uma situação de retratamento, além destes benefícios, o EDTA ainda vai permitir favorecer a remoção de vestígios de guta-percha. Usa-se na irrigação final, sem utilização de hipoclorito de sódio posterior. De notar que não vai substituir o hipoclorito de sódio de modo nenhum, mas sim realizar uma limpeza complementar. Apesar do EDTA ter uma baixa toxicidade, outra solução candidata à realização da mesma função é o ácido cítrico, que também remove a “smear layer” e apresenta-se como uma alternativa fiável (Darcey et al., 2016).

Nenhum irrigante endodôntico possui capacidade de suprimir tecido orgânico e inorgânico em simultâneo. Sabendo que o hipoclorito de sódio elimina o tecido orgânico, o EDTA pode trabalhar como irrigante complementar. A erradicação que realiza da camada inorgânica dá-se desmineralizando os elementos inorgânicos dentinários através da realização de uma descalcificação, sendo que é por isso que se considera o EDTA um agente quelante. Essa quelação de iões de cálcio permite ao EDTA penetrar até cerca de 20 a 30 µm dos túbulos dentinários em 5 minutos. Com o prolongar do tempo, essa penetração pode subir até valores de 50 µm. Ainda que uma irrigação contínua de 5 ml de EDTA a 17% ao longo de 3 minutos consiga eliminar a “smear layer” eficazmente, alguns investigadores afirmam que 1 minuto é o suficiente para produzir esse efeito. Um aspeto negativo desta solução prende-se com o facto de não poder ser misturada com o hipoclorito de sódio, na medida em que, ao diminuir instantaneamente a quantidade de cloro livre, anula a capacidade do hipoclorito de sódio de executar as suas funções antimicrobianas e de eliminar matéria orgânica. Qualquer sistema de ativação promoverá uma maior reatividade do EDTA e proporciona uma melhor eliminação da “smear layer” (Gomes et al., 2023).

4. Ativação do irrigante

A fase quimiomecânica distingue-se pela remoção da polpa e fragmentos de dentina. Outro objetivo de destaque, em canais infetados, é a redução de microbiota e respetivos

subprodutos. Uma penetração mais elevada de irrigantes e medicação intracanal tem como repercussão direta uma desinfeção mais eficiente e, como consequência futura, um selamento dos canais mais eficaz, durante a obturação. A utilização de técnicas de ativação do irrigante pode ter um papel crucial para esse aumento de profundidade de irrigação. Tal como enunciado anteriormente, estas técnicas ativadoras constituem duas categorias: técnicas de ativação manual e técnicas de agitação com o apoio de dispositivos. Ao nível de instrumental, as primeiras envolvem unicamente a utilização de seringas, agulhas e cones de guta-percha, enquanto que as segundas envolvem variados dispositivos que permitem utilizar procedimentos de ativação ultrassónicos, sónicos, por pressão apical negativa (Endo VAC), entre outros (Ghorbanzadeh et al., 2016).

Mesmo sabendo da capacidade de irrigação, nomeadamente do hipoclorito de sódio, na eliminação de microbiota na dentina radicular, sabe-se que essa erradicação não é completa. Quando se aplica o irrigante de forma tradicional, com o uso de agulha e seringa e sem qualquer tipo de ativação, as zonas mais profundas dos túbulos dentinários, geralmente, não são atingidas pelo irrigante. Sabendo que a presença de microrganismos é detetada até uma profundidade dentinária de 420 μm e que a irrigação tradicional apenas permite atingir, na melhor das hipóteses, uma profundidade de 250 μm , fica claro que a microbiota mais profunda pode originar uma recidiva de doença. Tendo em conta esse facto, é essencial promover um aumento de penetração da solução de irrigação nos túbulos dentinários. Uma possibilidade de viabilizar uma irrigação mais capaz passa pelo aumento de concentração e do tempo de colocação da solução no canal. No entanto, a concentração não pode ser aumentada de forma desmedida, tendo em conta que todos os irrigantes ativos apresentam uma componente tóxica ao organismo. Relativamente ao aumento de tempo, verificou-se que exposições prolongadas com concentrações inferiores não superavam a penetração comparativamente às concentrações mais altas. Verificou-se então que, ao ativar os irrigantes, independentemente da técnica implementada e mesmo sem o aumento da concentração da solução, é permitido impulsionar a capacidade de profundidade de irrigação nos túbulos dentinários (Dioguardi et al., 2018; Virdee et al., 2020).

Uma ampla variedade de estudos confirma que a ativação do irrigante é uma ferramenta bastante útil na promoção do sucesso do tratamento endodôntico. Em termos funcionais, a irrigação convencional flui apenas fruto da pressão positiva da injeção do irrigante da seringa e agulha e da viscosidade da solução para deslizar ao longo dos canais radiculares. Por sua vez, o conceito de irrigação ativada é visto como um processo que utiliza energia física, mecânica ou qualquer outra forma de energia, de forma a permitir a agitação do irrigante e, deste modo, aumentar a sua dispersão, de forma a atingir zonas de mais difícil acesso, ao longo do sistema de canais radiculares. Tendo em conta que a eficiência da irrigação depende da solução e é tanto maior quanto a sua distribuição, conclui-se que a ativação é benéfica ao desempenho do irrigante. Este benefício verifica-se também ao nível de desbridamento, remoção de biofilme e da “smear layer”. Outro grande benefício é a diminuição da possibilidade de extrusão de irrigante ao nível apical, permitindo reduzir todos os problemas associados à citotoxicidade das soluções utilizadas em clínica, referentes aos tecidos perirradiculares. A ativação de irrigação com o auxílio de máquinas produz ainda uma diminuição da dor pós-operatória e permite uma maior eficácia na limpeza dos canais e de istmos, apesar da vantagem ao nível de cicatrização ao longo do tempo ainda ser questionável (Ghorbanzadeh et al., 2016; Susila & Minu, 2019).

Uma investigação verificou que a irrigação sem ativação apresenta menor penetração nos túbulos dentinários do que as técnicas de ativação dinâmica manual, ultrassónica e sónica, independentemente da secção visada do canal. Verificou-se, então, que, seja qual for o protocolo eleito, a ativação de irrigação é sempre positiva para fins de desinfeção canal. Esta promoção da penetração, e conseqüente melhoria funcional da solução, pode ser explicada uma vez que a ativação promove um maior dinamismo. Consecutivamente, o contacto das paredes do canal com o fluído utilizado aumenta, promovendo uma distribuição do irrigante pelas paredes do canal. Por sua vez, na irrigação tradicional, os irrigantes retornam à câmara pulpar imediatamente após contactarem no canal, diminuindo, deste modo, a sua profundidade de penetração e, consecutivamente, a sua ação (Virdee et al., 2020).

A ativação de irrigante é possível através da utilização de diversas técnicas. A ativação dinâmica manual, a irrigação ultrassónica passiva e a irrigação sónica são os procedimentos mais analisados e aplicados (Gomes et al., 2023).

A “smear layer” provoca uma interferência entre a dentina e o material obturador do canal radicular. A fim de permitir uma maior eliminação da “smear layer” e consequente redução dessa obstrução à obturação, foram propostos diversos métodos de ativação do irrigante na irrigação final. Um estudo afirma que estas técnicas permitem um aumento da eficácia da irrigação na limpeza de canais radiculares, aumentando consequentemente a remoção da “smear layer” e da desinfeção canal. Deste modo, o selamento obturador é bastante mais competente já que uma eliminação ótima da “smear layer” permite que o contacto com as paredes do canal seja mais íntimo. Entre os métodos de ativação de irrigação adequados na remoção de “smear layer”, encontram-se a ativação dinâmica manual, a irrigação ultrassónica e a irrigação sónica, métodos que se superiorizam à irrigação convencional por agulha. Não obstante, segundo um estudo em canais radiculares curvos, independentemente do método de ativação, a qualidade da remoção da “smear layer” no terço apical da raiz nunca é ótima e o aumento de profundidade do cimento obturador nos túbulos dentinários, ao contrário do caso de canais retos, não foi significativo (Yilmaz et al., 2020).

Além dos métodos anunciados anteriormente, a técnica a laser também é um método amplamente utilizado na ativação de irrigação, tendo também capacidade de potenciar a desinfeção canal. Estas técnicas podem ser utilizadas após a instrumentação, de modo a ativar as soluções utilizadas durante a irrigação final. Esta eficiência na redução microbiana por parte da ativação irrigadora é um fenómeno previamente comprovado por variadíssimos estudos (Azim et al., 2016).

De modo a promover algumas diretrizes por parte do profissional de saúde relativamente aos objetivos a cumprir aquando da realização da ativação de irrigação, foram reunidas algumas finalidades principais a reter durante a execução duma ativação de irrigação. Essas finalidades envolvem: 1) Permitir que o irrigante atinja todo o sistema canalar para promover contacto com as substâncias a remover; 2) Repor a solução frequentemente de forma a renovar o líquido empregado anteriormente, que já possui uma capacidade de ação menor; 3) Aplicar tensão nas substâncias a remover, de modo a libertá-las das paredes do canal radicular; 4) Promover a saída do irrigante que já perdeu capacidade de atuação conjuntamente com os componentes a eliminar, em direção à câmara pulpar, impedindo a extrusão irrigativa pelo forame apical (Arias-Moliz & Boutsoukis, 2022).

Sabendo que todas estas técnicas permitem uma eliminação mais completa quer da “smear layer” quer de fragmentos orgânicos e inorgânicos, facilmente se conclui que o seu uso é ideal num tratamento endodôntico. Existe uma panóplia de dados bastante díspar, pelo que não existe nenhum procedimento ou método específico de ativação do irrigante recomendado (Virdee et al., 2017).

5. Irrigação convencional

A irrigação tradicional é um processo vastamente utilizado e aceite num tratamento endodôntico. Relativamente aos utensílios necessários à sua realização, utilizam-se uma seringa conectada a uma cânula ou agulha, que pode possuir diversos calibres. No momento da libertação de irrigante no canal, é possível executar ligeiros movimentos de vaivém ou permanecer estático. Algumas características que distinguem esta técnica são não só a facilidade de controlo da profundidade da agulha, mas também do volume de irrigante utilizado. No entanto, a padronização e grande controlo da saída de irrigante são de difícil obtenção (Gomes et al., 2023).

Considera-se, em alguns casos, o efeito da irrigação ser competente ao ponto do tratamento ser bem sucedido. Verifica-se que o irrigante apenas flui 1 a 3 milímetros após a extremidade da agulha, no entanto, algumas agulhas com calibre de 27 ou de 30 podem permitir a obtenção de uma entrada para a zona apical do canal. A existência de agulhas com saídas da solução lateral permite a execução de uma irrigação mais protegida relativamente às agulhas de extremidades abertas, na medida em que a extrusão de irrigante para além do ápice do canal tem um risco diminuído, visto que esta irrigação é realizada através da execução de uma pressão positiva (Haapasalo et al., 2014).

A diferença dos dois tipos de agulhas existentes é o facto de umas libertarem o irrigante através da sua ponta e outras, ao terem a extremidade fechada, não permitem essa injeção da solução, libertando o irrigante lateralmente de forma a este fluir pelas paredes do canal. De notar que a agulha de ventilação lateral pode possuir mais do que um orifício de saída da solução. As agulhas de tamanho 21 a 25 eram, no passado, as de uso mais consensual. No entanto, verificou-se que apenas permitiam usufruir da irrigação até ao terço médio dos canais. Atualmente, as agulhas de tamanho 27 a 30 são as mais recomendadas, sendo a agulha 30 vista como a norma atual. Apesar disso, acredita-se que, provavelmente, as agulhas de tamanho 31 passarão a ser a referência recomendada no futuro. Analisou-se que a importância de aumentar o diâmetro apical era maior do que a conicidade do canal radicular e que permitia reduzir a possibilidade de extrusão do irrigante. Muitas investigações relatam não existirem grandes alterações significativas entre a irrigação convencional e uma ampla variedade de ativações de irrigação ao nível de remoção de tecido, fragmentos e biofilme em casos em que o dente possui apenas um canal e com uma anatomia básica. Sendo assim, é possível que este tipo de irrigação seja o suficiente para um tratamento adequado. Em casos de colocação da agulha longe do comprimento de trabalho (CT), existência de mais canais ou zonas anatómicas mais complexas, a ativação do irrigante é essencial à melhoria da qualidade do procedimento (Arias-Moliz & Boutsoukis, 2022).

Segundo um artigo, de modo a promover um maior fluxo de irrigação ao longo do canal, a extremidade da agulha deve ser colocada a cerca de 1 milímetro do comprimento de trabalho, o que pode aumentar a possibilidade de extrusão do irrigante no ápice radicular. Outra situação negativa que pode ocorrer é o vapor lock, circunstância em que bolhas de vapor não permitem ao irrigante interagir com as paredes do canal radicular, nomeadamente na porção mais apical, levando assim a um insucesso na irrigação (Generalì et al., 2017).

Naturalmente, além do vapor lock, quer as características do irrigante quer as do canal e da agulha influenciam o mecanismo de irrigação do canal radicular. Além da necessidade do tamanho da agulha ser adequado, também é importante saber as alterações provocadas consoante o local de saída da solução. Quando a irrigação foi realizada com uma agulha de ventilação lateral, observou-se que a tensão de cisalhamento provocada nas paredes do canal era maior em relação à agulha de extremidade aberta, o que significa que existe um contacto mais íntimo entre o irrigante e as paredes do canal. Assim, promove uma melhor remoção mecânica de tecidos e de biofilme. Porém, o fluxo de irrigante é menor, ou seja, haverá uma menor área do canal afetada por esta irrigação. Deste modo, um estudo concluiu que as agulhas de ventilação lateral devem estar inseridas a 1 milímetro do comprimento de trabalho. Sabendo que a velocidade do irrigante e o fluxo são maiores em agulhas abertas, verificou-se que o melhor era colocar as agulhas a 2 milímetros do comprimento de trabalho e, assim, tentar impossibilitar a extrusão irrigativa pelo forame apical (Chen et al., 2014).

Além desta pressão positiva com o qual o irrigante sai da agulha, a irrigação convencional depende da solução irrigativa e da sua viscosidade, que influenciam a capacidade de fluir ao longo do sistema de canal radicular. Apesar de algumas investigações relatarem que o irrigante pode fluir até 3 milímetros após a ponta da agulha, diversos estudos afirmam que o irrigante não alcança mais de 1 milímetro. Estas circunstâncias permitem à microbiota instalada nos sistemas de canais, sobretudo em zonas de mais difícil acesso, tais como zonas anatómicas complexas (istmos,

anastomoses, deltas apicais, entre outras), sobreviverem ao tratamento endodôntico e levarem à existência de uma recidiva do problema de saúde. O facto de a irrigação sem ativação apresentar limitações relativamente à fluidez do irrigante pelo canal leva a que, à exceção de canais largos com ápices abertos, não seja habitual verificar-se casos de extrusão pelo ápice. Contrariamente ao que se possa pensar, tendo em conta esta informação, apurou-se que a irrigação tradicional é a que provoca mais dor pós-operatória, e também o método que levou o paciente a requerer mais vezes a toma de medicação, necessitando também de maior número de comprimidos, com uma diferença de 92% para 58% em relação à ativação de irrigação. Este incómodo deve-se à pressão positiva causada na seringa refletir-se no fluido como uma pressão hidráulica da solução no sistema de canais, que provoca dor. Outra justificação prende-se com a pressão positiva provocar a expulsão de mais detritos pelo ápice e também com o facto desta técnica de desinfeção ser mais incompleta, pelo que pode não erradicar restos de tecido pulpar e de microbiota, o que pode apoiar a existência da dor pós-operatória (Susila & Minu, 2019).

A taxa de fluxo de irrigante e o valor do comprimento de trabalho influenciam os valores de pressão apical. Apesar da pressão ser menor em agulhas com saída de irrigante lateral, relativamente a agulhas com abertura na extremidade, as diferenças foram vistas, segundo alguns estudos, como estatisticamente irrelevantes, sendo que defendem que a ponta da agulha deve encontrar-se cerca de 1 a 3 milímetros dentro do canal radicular. Quando é aplicada uma grande quantidade de taxa de fluxo, a pressão apical aumenta para valores imprevisíveis, podendo variar conforme: 1) A forma do canal, nomeadamente a da sua porção apical; 2) A profundidade de posicionamento da agulha; 3) A localização do orifício de saída de irrigante e seu respetivo diâmetro. Esta aplicação de taxa de fluxo descontrolada provoca uma interação instável do irrigante com as paredes do canal, o que leva a um comprimento irrigado incerto. Possibilita-se, assim, a hipótese de ocorrerem contratemplos na irrigação tradicional. Não obstante, estas situações são bastante raras neste método. Diversos valores para a taxa de fluxo limite foram sugeridos para uma irrigação segura. Um estudo sugeriu 5,88 mmHg como a pressão máxima segura passível de ser aplicada. Apesar disso, a relação entre pressão

apical e extrusão não é inteiramente conhecida pelo que estes valores não estão bem definidos (Haapasalo et al., 2015).

Não havendo um valor limite conhecido, foram criadas orientações para promoção de uma irrigação mais segura. Essas instruções passam por localizar a extremidade da agulha a uma distância adequada do comprimento de trabalho, tentar prevenir o toque da agulha na parede do canal radicular e libertar o irrigante através de uma taxa de fluxo lenta e controlada (Gomes et al., 2023).

Por diversas situações, a irrigação convencional não permite que o irrigante flua e atue no sistema de canais radiculares, nomeadamente, em istmos e no terço apical dos canais. Uma investigação relata que o terço apical de um canal sujeito a irrigação com seringa e agulha, contrariamente a diversas irrigações ativadas, não apresenta diferenças significativas relativamente a canais não tratados em termos de biovolume. Apesar disso, os canais exibem os dois terços coronais com uma quantidade de matéria biológica menor. Estes canais apresentaram também um volume biológico menor que nos istmos, visto que nenhuma técnica foi capaz de apresentar resultados favoráveis neste setor, não havendo diferenças significativas entre elas. Deste modo, verificou-se que nenhum método de irrigação permite que os istmos e os canais, sobretudo no seu terço apical, fiquem completamente independentes de atividade bacteriana. Posto isto, constata-se que não existe conformidade relativamente à irrigação convencional em comparação com a ativação de irrigação ultrassónica, uma vez que algumas investigações afirmam que a ativação ultrassónica possui uma capacidade antimicrobiana maior. No entanto, nem todas conseguiram verificá-lo nos seus ensaios clínicos relativos à diminuição de microbiota e capacidade de cicatrização do periodonto (Briones et al., 2020).

É também importante realçar que este método de irrigação se verifica bastante mais competente na promoção de uma desinfeção nas camadas mais superficiais do canal radicular. Porém, revela-se ineficaz nas camadas mais profundas dos túbulos

dentinários, levando a uma retenção de microbiota e possíveis complicações na cicatrização do tecido perirradicular e no sucesso do tratamento endodôntico a longo prazo (Azim et al., 2016).

Foi verificado que, entre os Médicos Dentistas com ou sem especialidade em Endodontia, a prática desta técnica irrigativa continua a ser a mais empregue em tratamentos endodônticos, com o hipoclorito de sódio usado como solução principal (Gregório et al., 2015).

Uma investigação permitiu analisar que, quando era realizada uma irrigação apenas com o uso de agulha e seringa, era necessária uma preparação da porção apical do canal até ao diâmetro de 0,30 milímetros. Apesar de o conceito de Endodontia minimamente invasiva muitas vezes defender que os canais podem ser trabalhados apenas até ao tamanho apical de 0,20 ou 0,25 milímetros, verificou-se que, nesses casos, o irrigante não possuía a capacidade de atingir a zona apical, independentemente da escolha da agulha a utilizar. Esta necessidade de preparar o canal para, no mínimo, 0,30 ou 0,35 milímetros de diâmetro apical, é explicada pela possibilidade de permitir que a agulha de tamanho 27 a 30 seja colocada mais próxima da medida do CT. Isto leva a uma maior propagação do irrigante e melhor desinfecção e desbridamento do canal (Boutsoukis & Nova, 2021).

6. Irrigação ultrassónica

Um dos métodos de ativação de irrigação mais utilizados é a irrigação ultrassónica passiva (PUI). Ao analisar o nome desta técnica, é necessário entender que, apesar do conceito "passiva" estar presente, a PUI tem uma ação de ativação da solução irrigativa. Esta palavra surge na medida em que a ponta de ultrassom, que provoca a agitação do irrigante, teoricamente não tem uma ação cortante nas paredes do canal e, inclusivamente, não deve contactá-las, de modo a não prejudicar a oscilação do instrumento. Na irrigação ultrassónica, a frequência da oscilação é conseguida pelo uso

de dispositivos piezoelétricos ou dispositivos magnetostritivos. Antes de iniciar a ativação, a ponta ultrassónica não cortante vai ser inserida no canal, junto da sua zona apical, a cerca de 2 milímetros do comprimento de trabalho, sem contactar com as paredes do canal. É importante que esta ponta tenha a capacidade de vibrar livremente. Inicia-se a ativação ultrassónica do irrigante posteriormente à instrumentação quimiomecânica, de modo a que o canal radicular se encontre alargado e preparado para a inserção do instrumento, já que, para promover uma PUI eficiente, o canal deve possuir 3 vezes mais diâmetro do que a ponta ultrassónica, no local em que esta está inserida (Boutsioukis & Tzimpoulas, 2016 ; Gomes et al., 2023).

A ativação do irrigante durante a irrigação final é importantíssima para promover uma limpeza do sistema de canais mais adequada. As frequências que um instrumento ultrassónico com esta função promove situam-se entre os 25 e os 40 kHz. O seu desempenho está diretamente ligado à eficiência do dispositivo gerar um fluxo acústico e cavitação no líquido irrigante. A ação direta da cavitação pode ser entendida como menos relevante, já que apenas existe nas proximidades da ponta do instrumento. A cavitação é formada quando este instrumento ultrassónico vibra e produz bolhas no líquido que contacta com ele. Estas bolhas são instáveis e colapsam após a sua formação. A criação e colisão de bolhas e cavidades dá-se devido aos diferentes gradientes de pressão (positivos e negativos) e gera uma produção de energia que produz um efeito de lavagem e permite aumentar muito o fluxo. O fluxo acústico consiste nesse movimento acelerado da solução e leva a uma promoção dos efeitos químicos e mecânicos do irrigante dentro do canal. Entre estes efeitos, verificam-se a capacidade de dissolução e remoção de tecidos orgânicos e inorgânicos e a capacidade de eliminação de bactérias e biofilmes (Plotino et al., 2016).

Destacam-se duas categorias relativas à cavitação: cavitação estável e cavitação transitória. Enquanto que na cavitação estável se dão alterações de volumes mais moderadas, a cavitação transitória destaca-se pelo colapso inercial abrupto e violento das bolhas, que libertam muita energia e permitem assim uma amplificação das reações

químicas entre o irrigante e o canal, o que aumenta a limpeza canal. Neste tipo de cavitação, a bolha em colapso encontra-se sob grande pressão e alta temperatura. Segundo uma investigação realizada em 2014, a cavitação nunca foi observada durante o procedimento de ativação sónica em nenhum estudo visualizado pelos investigadores (Macedo et al., 2014).

Apesar disso, o efeito de bolhas não inerciais é significativo já que as bolhas inerciais podem praticamente restringir-se à ponta do instrumento vibratório (Gomes et al., 2023).

A PUI mostrou induzir maior tensão de cisalhamento ao longo da parede do canal radicular. Esta tensão, provocada pela força do movimento do irrigante no sistema canal, atua com mais intensidade em direção à porção coronal, iniciando-se a partir do local onde está inserida a ponta ultrassónica. A ativação ultrassónica provoca no irrigante um movimento paralelo à parede do canal que resulta numa interação mais eficaz entre o irrigante e o canal. Também permite, possivelmente, a melhoria da ação das soluções nos biofilmes situados neste sistema de canais. Entender o fenómeno desta grande força de cisalhamento aplicada no canal, elucida o motivo pelo qual este tipo de ativação promove níveis antimicrobianos mais elevados, segundo alguns autores (Chen et al., 2014).

Um estudo relata que, não existindo um irrigante ideal para todas as circunstâncias, se deve protocolar um método de irrigação que permita potencializar a desinfeção do sistema de canais. Assim, sugere o uso de diversos irrigantes ativados através da ativação ultrassónica, por 30 segundos cada ativação, com o canal contendo 2 mililitros de solução. Este procedimento seria repetido duas vezes seguidas por cada irrigante utilizado (Prada et al., 2019).

Outra investigação clínica relata que uma ativação ultrassónica melhora imensamente os efeitos do hipoclorito de sódio no sistema de canais radiculares. Sugere um protocolo de irrigação final que envolve a sua ativação pelo uso de ultrassons com 3 ciclos de 10 a 20 segundos, afirmando que este tempo já permite uma limpeza eficiente para um tratamento efetivo (Plotino et al., 2016).

Verificou-se que quer a ativação ultrassónica, quer a MDA e ainda a sónica, permitiram uma maior penetração irrigativa, relativamente à irrigação com agulha e seringa não ativada, em todos os setores canales e túbulos dentinários correspondentes, independentemente do irrigante que o Médico Dentista eleger. Este aumento de penetração e consequente desinfeção e limpeza justifica-se visto que, além da ativação ultrassónica, os outros métodos também promovem uma interação mais íntima entre a os canais e o irrigante (Virdee et al., 2020).

Foi analisado que o termo "passivo" de PUI não é considerado o mais correto. Alguns estudos realçam que o contacto do instrumento com a parede do canal é constante e, ainda que muitas vezes seja suave, promove alterações na vibração. Esse contacto leva a que a utilização de um instrumento ativador ultrassónico induza a possibilidade de uma remoção descontrolada dentinária, independentemente do cumprimento dos parâmetros e instruções do fabricante. Esta eliminação pode acontecer em canais retos, mas, no caso de canais curvos, pode adicionalmente promover a criação de irregularidades, perfurações ou a criação de transporte apical (Boutsioukis & Tzimpoulas, 2016).

O método ultrassónico funciona por libertação de energia que, como visto anteriormente, induz a cavitação e transmissão acústica que irá melhorar a capacidade irrigativa. Para uma maior promoção destes dois fatores ser possível, são necessárias duas premissas serem cumpridas: o instrumento eleito para o efeito apresentar uma potência elevada o suficiente e a existência de área desimpedida no canal mais ampla, ao ponto de permitir que a ponta do dispositivo ultrassónico não tenha nenhuma interferência. Um estudo foi realizado com uma ponta ultrassónica de tamanho 20.

Sabendo que o ideal a um bom funcionamento do instrumento é o trabalho dentro de um espaço com um diâmetro 3 vezes superior ao seu, conclui-se que a preparação tinha de estar executada com um diâmetro mínimo de 60. Em diversas ocasiões, as características do sistema de canais não permitem um alargamento tão elevado, pelo que muitas vezes a PUI não será executada nas condições ideais. Existindo maior interação entre o instrumento e a paredes canales, a propagação de energia ultrassónica foi afetada. Facilmente se conclui que a zona apical, sendo menos larga, não é tão eficazmente limpa como a região cervical. Uma investigação analisou que, dividindo a zona mais estreita do canal em 6 porções, as 3 zonas mais coronais ativadas por um sistema de ultrassom resultam em condições semelhantes a um grupo de controle com ausência de detritos. Por sua vez, os 3 segmentos mais apicais apresentaram características equivalentes a um grupo de controle com uma presença de detritos total. Tendo em conta que a área mais apical é o local mais estreito e, conseqüentemente, o que possui maior quantidade de detritos fixados nas paredes canales, a PUI pode não ser sempre o método a escolher mais indicado (Kato et al., 2016).

Apesar das limas k serem desenvolvidas para fins de instrumentação, estas são vastamente aplicadas na ativação ultrassónica. No entanto, diversos estudos relatam que estas limas, quando utilizadas para este fim, arranham os canais e provocam transporte apical. Uma investigação decidiu explorar essa utilização e comparar com o uso de Irrisafe, um instrumento específico para a ativação ultrassónica, que tem bordos não cortantes e uma ponta arredondada, promovendo assim a manutenção de dentina intacta. Outra vantagem de Irrisafe é que a sua amplitude é regular ao longo do instrumento e, geralmente, menor à das limas k, que possuem amplitude máxima na sua ponta. Estas características ajudam a explicar o porquê das limas k promoverem a criação de danos com maior extensão e uma eliminação de dentina mais elevada, sobretudo no terço apical. Assim, entende-se que a sua utilização para este fim é inadequada. Apesar do efeito de Irrisafe ser bastante mais reduzido, contrariamente ao enunciado, também se verifica a extração de ligeiras porções de dentina. Uma alternativa possivelmente redutora de danos dentinários é a utilização de fios lisos na ativação ultrassónica. Não obstante estes danos, a sua relevância prática é controversa, já que, durante uma

investigação, não se analisou perfurações nem transporte apical. Os danos mais profundos verificados, incluindo a utilização da lima k, eram de 0,1 milímetros, sendo que estes dificilmente provocavam alterações de resistência radicular. Em contrapartida, alguns procedimentos, como a colocação da guta-percha principal, podem ser dificultados. Uma alteração protocolar poderia impulsionar melhores resultados nestes parâmetros (Boutsioukis & Tzimpoulas, 2016).

Perante a possibilidade dos fios lisos reduzirem os danos dentários, foi realizada a análise de uma investigação muito similar, mas incluindo os fios lisos como método de comparação com as limas k e também com a Irrisafe. Os fios lisos são instrumentos que, segundo o fabricante, possuem bordos não cortantes. Ambos os estudos concordam que, de facto, as limas k são a alternativa que remove uma maior quantidade de dentina. Porém, esta segunda investigação relata haver diferenças mais significativas no terço coronal e médio, enquanto que, no terço apical, a destruição de dentina não possui diferenças estatisticamente relevantes. É de realçar que, contrariamente ao enunciado, os fios lisos possuem, de facto, capacidade de eliminar quase tanta dentina no terço apical como as limas k. Verificou-se que, quanto mais pronunciada a curvatura do canal, mais volume de dentina removida e profundidade de defeitos são expectáveis. A capacidade de desbridamento também pode ser afetada pelo maior contacto do material com o canal e conseqüente alteração de vibração. Quer estes três instrumentos, quer o tempo de ativação do irrigante, levaram à remoção descontrolada de dentina, pelo que a restrição temporal de ativação ultrassónica poderá ser benéfica a neste nível. Ponderando todos os dados do estudo, os autores concluíram que as limas Irrisafe conseguiram um resultado de maior preservação de estrutura dentinária. Contudo, a profundidade máxima dos defeitos era de 0,18 milímetros, pelo que qualquer um dos instrumentos dificilmente afetaria a resiliência das raízes (Retsas et al., 2016).

A PUI pode ser realizada com duas técnicas distintas: irrigação ultrassónica contínua e irrigação ultrassónica intermitente (Raj et al., 2021).

6.1 Irrigação ultrassónica intermitente

A ativação de irrigação intermitente distingue-se pela inserção da agulha no canal e preenchimento do mesmo com a solução. Seguidamente, dá-se a colocação do instrumento ultrassónico no canal para posterior ativação. O cloro presente no NaOCl, irrigante amplamente utilizado, tem função antimicrobiana e de dissolução de tecido. Quando este método de ativação é realizado, o cloro é consumido de forma mais acelerada. Juntando esta informação ao facto da quantidade de irrigante ativado ser pouco, nesta metodologia, conclui-se que a ativação ultrassónica contínua promove maior reabastecimento irrigativo (Middha et al., 2016).

Quer a irrigação ultrassónica intermitente, quer a contínua, foram consideradas competentes na desinfeção canalar, sem alterações significativas, de acordo com uma investigação que comparava as suas eficácias em canais principais e laterais (Filho et al., 2016).

Uma maior turbulência no movimento do irrigante promove mais capacidade de remoção de detritos. Dois fatores que influenciam a turbulência são a velocidade e a pressão com que o irrigante é introduzido no canal. Em regimes de irrigação contínua e intermitente, o efeito do tempo não teve uma diferença estatisticamente significativa (Raj et al., 2021).

Enquanto a irrigação ultrassónica contínua levou a uma alta velocidade do irrigante e tensão de cisalhamento nos três milímetros apicais, a irrigação ultrassónica intermitente proporcionou uma velocidade e tensão de cisalhamento reduzidas. Sabendo que esta dinâmica da solução é proporcional à capacidade antibiofilme, esta investigação concluiu também que a ativação ultrassónica contínua diminuiu significativamente a quantidade de biofilme. Os efeitos mecânicos da ativação ultrassónica contínua foram marcados nos 3 milímetros apicais por maior interação da solução com as paredes do canal. Contrariamente, a ativação intermitente não proporcionou uma diminuição de

biofilme significativa, tendo uma tensão de cisalhamento muito reduzida nos 3 milímetros mais próximos do ápice (Layton et al., 2015).

6.2 Irrigação ultrassónica contínua

A irrigação ultrassónica contínua consiste numa introdução constante de irrigante no canal, o que permite a redução do tempo de irrigação. Assim, promove-se ativação do irrigante e substituição da solução saturada, que possui capacidade de ação diminuída. Este método é considerado mais eficiente, comparativamente com a irrigação ultrassónica intermitente, ao nível de eliminação de detritos. Um estudo confirmou que o fluxo contínuo de irrigante permite potenciar a ativação do hipoclorito de sódio, tendo impacto positivo ao nível do desbridamento e desinfeção do sistema canalar (Raj et al., 2021).

A irrigação ultrassónica contínua, tal como todas as técnicas de PUI, induz cavitação e fluxo acústico. A agulha de irrigação encontra-se conectada à máquina ultrassónica. Deste modo, o fluxo de irrigante é realizado sem interrupções e o irrigante encontra-se ativado desde o momento de saída da agulha. Assim sendo, a agulha não necessita de ser inserida no comprimento de trabalho (Souza et al., 2019).

Nesta técnica específica, o canal está sempre repleto de irrigante. A ativação ultrassónica intermitente tem, inicialmente, o canal cheio de irrigante, mas, tendo em conta que a agitação do irrigante é em direção a coronal, o volume vai diminuindo e o fluxo é comprometido. Para este fluxo ser maximizado, a ponta deve vibrar livremente na sua amplitude completa. Sabendo que a ponta na ativação ultrassónica intermitente está colocada a 1 milímetro do CT, o contacto será frequente e com consequências negativas ao fluxo acústico. A ativação contínua é realizada com a ponta mais distante do CT, pelo que essa interferência é reduzida ou anulada e o fluxo acústico é amplificado. Um estudo foi realizado e concluiu que esse fluxo é cerca de 5 vezes superior, relativamente à irrigação ultrassónica intermitente. Constatou ainda que ambos

os métodos devem ser sujeitos a mais investigações, de forma a promover a sua capacidade de remoção de biofilme (Layton et al., 2015).

7. Irrigação sónica

De acordo com uma análise científica, a ativação sónica é uma técnica de ativação do irrigante com efeitos bastante satisfatórios na desinfeção canalar e remoção de “smear layer”. Estes impactos verificam-se quer ao nível do canal principal, quer nos canais laterais. Verifica-se comumente que os sistemas de ativação sónica são constituídos por pontas de plástico lisas que possuem diversos tamanhos. Estas pontas de plástico ligam-se a uma peça de mão que vai transmitir uma frequência sónica e permitir, assim, que as pontas ativem o irrigante. Recentemente foram criadas técnicas que viabilizam esta ativação simultaneamente à irrigação dos canais. Este método de ativação sónico, distingue-se do ultrassónico porque funcionam com frequências mais baixas, motivo pelo qual muitas vezes se alega que a limpeza do canal nesta técnica também é inferior (Plotino et al., 2016).

A utilização dos métodos sónicos exige colocação da ponta de polímero no interior do canal, inserida no terço apical (Balić et al., 2016).

Os mecanismos de ativação sónica funcionam através da vibração com frequências provocadas numa lima, constituída por um polímero flexível com bordos não cortantes. Quer o método de ativação ultrassónico, quer o sónico permitem potenciar a profundidade de penetração tubular do hipoclorito de sódio ao longo do canal, quando comparados à irrigação convencional. Esta infiltração confirma-se sobretudo se as concentrações do hipoclorito forem mais elevadas (Virdee et al., 2020).

Além de pontas de polímero amplamente usadas, a irrigação sónica (SI) pode possuir pontas de metal ou pontas de agulha ventiladas convencionais (Gomes et al., 2023).

Enquanto a amplitude da ativação sónica é maior, as tensões de cisalhamento são inferiores. Embora possua uma eficácia de desinfecção superior à irrigação convencional, segundo um estudo, essa limpeza não foi tão eficaz como a apresentada por PUI. Apesar das eficiências aumentadas relativamente à irrigação tradicional, nenhum método foi capaz de remover toda a “smear layer” presente na porção apical do canal (Karade et al., 2017).

Não obstante a importância da técnica de ativação sónica, o método ultrassónico é o mais utilizado entre Endodontistas e Médicos Dentistas generalistas (Gregório et al., 2015).

Embora alguns artigos informem que a frequência da ativação sónica varia entre 1 a 6 kHz (Plotino et al., 2016 ; Karade et al., 2017), informações mais recentes incluem frequências de 1 a 10 kHz no espectro de frequências sónicas (Virdee et al., 2020), ou até de 20 a 20 kHz (Dadhich et al., 2023).

Um estudo de 2014 enuncia que os mecanismos ultrassónicos exibiram níveis de produtividade superiores aos dispositivos sónicos mais utilizados naquela data. Essa diferença foi explicada pela amplitude muito superior no movimento de oscilação do instrumento sónico, o que em variadas situações não permitia a sua utilização mais eficiente no canal. Outro fator de atribuição de menores níveis de eficácia foi o facto da cavitação característica dos aparelhos ultrassónicos não ser passível de ser realizada com os dispositivos sónicos. Posto isto, a transmissão acústica também era inexistente. Normalmente os aparelhos sónicos possuíam uma ponta de plástico com um diâmetro de 200 µm, uma frequência de cerca de 175 Hz e uma amplitude de oscilação de 1 milímetro, sendo este valor considerado elevado (Verhaagen et al., 2014).

Estudos mais recentes contrariam essa informação, afirmando que, apesar da cavitação normalmente só ocorrer a 30kHz, a amplitude também influencia neste aspeto, pelo que pode promover a cavitação a uma frequência inferior. Além disso, já existem sistemas

sónicos com amplitudes de oscilação reduzidas a 350 µm (Neuhaus et al., 2016 ; Urban et al., 2017).

A vibração sónica e ultrassónica contrastam uma com a outra. Um nodo é considerado o local de menor amplitude de oscilação. Por sua vez, o local com maior amplitude denomina-se de antinodo. Em mecanismos sónicos, a zona de menor amplitude (nodo) verifica-se próximo do mecanismo de vibração, enquanto o antinodo se localiza na extremidade livre da ponta. Em muitas situações, não existe movimento sem restrições da ponta vibradora, pelo que deixa de haver vibração lateral e a oscilação dá-se apenas no sentido longitudinal. Esta característica permite que a restrição de movimento não afete tanto a técnica sónica e que continue a existir um certo grau de eficácia de desinfeção (Gomes et al., 2023).

7.1 Vibringe

Um sistema sónico de baixa frequência (150 Hz) tradicional é o sistema Vibringe. Este mecanismo consiste numa peça de mão ligada a uma seringa descartável própria e com função igual a uma agulha de irrigação. Esta seringa distribui continuamente irrigante no canal, enquanto a ativação, que promove um fluxo da solução, é realizada. O fluxo acústico promove rompimento do biofilme e, assim, contribui para a desinfeção canal. Apesar destas características, a sua eficácia é amplamente debatida já que vários estudos demonstram eficiência limitada na remoção de “smear layer” e detritos. A sua ponta de aço inoxidável não permite grande amplitude de vibração, o que explica a desinfeção reduzida em apical, nomeadamente em canais radiculares com maior curvatura (Dumani et al., 2016 ; Moon et al., 2022 ; Topçuoğlu et al., 2016).

7.2 EndoActivator

Outro mecanismo de ativação sónico é o EndoActivator, que utiliza pontas de polímero que vibram, criando um fluxo acústico na solução aplicada ao nível canal. Este fenómeno hidrodinâmico permite uma eliminação da “smear layer” e desinfeção eficaz.

Sugere-se a sua utilização conjuntamente com o uso de NaOCl e EDTA. A sua eficácia também é amplamente debatida, visto que diversos estudos demonstram eficácia semelhante à irrigação com agulha e seringa (Balić et al., 2016).

As pontas de polímero possuem 3 tamanhos distintos: 15/0,02, 25/0,04 e 35/0,04. Apesar de normalmente este sistema trabalhar em frequências de 160, 175 e 190 Hz, também é possível ser utilizado com vibrações de 33, 100 e 167 Hz (Dadhich et al., 2023).

O contacto da ponta ativadora de PUI nas paredes do canal impede a sua movimentação livre. Consequentemente, diminui a eficácia da sua ação, sobretudo em canais curvos, pois o contacto é amplificado. Outro problema da ativação ultrassónica é que, apesar das suas pontas serem não cortantes, a liga metálica que as constitui é mais dura que a dentina, e o seu uso pode danificá-la. Estes aspetos negativos suscitaram interesse numa alternativa, pelo que se apontou para a utilização de ativação irrigadora com pontas plásticas em vez de metálicas, substituindo também a frequência ultrassónica por sónica. O EndoActivator é o sistema mais estudado na ativação sónica. Em canais curvos, possui menor capacidade de irrigação até ao ápice comparado à PUI. Existem métodos mais atuais de ativação do irrigante de carácter sónico, que atingem frequências de 6000 Hz, que, de acordo com um estudo, resulta em redução de biofilme numa proporção de 3 para 2 e 1, relativamente à ativação ultrassónica e irrigação manual, respetivamente. Após 7 dias, não houve alterações significativas entre a ativação sónica e ultrassónica. Verifica-se assim que a irrigação sónica a 6000 Hz é tão ou mais eficaz na redução de microbiota relativamente a PUI em canais retos e curvos (Neuhaus et al., 2016).

7.3 EDDY

Verificou-se numa investigação que EDDY produziu resultados tão ou mais eficazes que a ativação ultrassónica, ao nível de remoção de “smear layer”, bactérias, tecido mole e

fragmentos. Entende-se, portanto, que EDDY é uma alternativa viável na ativação de irrigantes. É de salientar que a ativação ultrassónica, apesar de ter bom desempenho na eliminação de “smear layer” e detritos, pode levar à criação de uma nova camada e transporte do canal. Estes aspetos negativos são evitados na ativação sónica. O fluxo laminar provocado pelo movimento tridimensional da ativação sónica compensa a sua menor taxa de fluxo, já que existe mais tendência para o irrigante atingir zonas anatómicas complexas, relativamente ao fluxo turbulento característico da vibração ultrassónica (Chu et al., 2023).

EDDY é um mecanismo de irrigação sónica passiva, em que um *scaler* de ar vai produzir uma frequência entre 5 e 6 kHz em direção à ponta de poliamida que, pelo facto de ser flexível, permite evitar a destruição dentinária característica da ativação ultrassónica. Esta ponta vibra com uma amplitude elevada e gera uma oscilação tridimensional capaz de provocar cavitação e fluxo acústico. Por sua vez, a ativação ultrassónica apenas permite um movimento num plano. Este método tem uma eficácia no mínimo tão satisfatória quanto o sistema PUI, de acordo com o estudo referenciado. Isso explica-se visto que a cavitação depende de dois fatores: a frequência e a amplitude de vibração. Apesar da frequência da irrigação ultrassónica ser superior, a amplitude da ativação sónica é de cerca de $346 \pm 41 \mu\text{m}$, ou seja, bastante mais elevada que os $11 \mu\text{m}$ dos ultrassons, o que permite uma cavitação a frequências reduzidas (Chu et al., 2023 ; Yeon et al., 2020).

A amplitude de oscilação em EDDY é de 0,35 mm e de EndoActivator 1,2 milímetros, pelo que, a cerca de 1 ou 2 mm do comprimento de trabalho, para vibrarem livremente, necessitam de 0,9 e 2,55 mm de espaço disponível. Esse espaço livre nem sempre é possível pelo que o contacto é regular e a limpeza dá-se também pelo contacto físico e não só pela ação irrigativa, o que limita a atividade ao canal principal. A vibração também é prejudicada e, mesmo as pontas plásticas, inversamente ao sugerido, podem provocar danos dentinários e criação de “smear layer”. O facto de EndoActivator, que oscila de 160 a 190 Hz, apresentar valores de desinfeção semelhantes à irrigação

tradicional e, por sua vez, EDDY, com frequências de 6 kHz, elevar o seu desempenho para níveis próximos da ativação ultrassónica, leva a concluir que a redução de amplitude e elevação de frequência promove uma ação mais eficaz dos mecanismos ativadores sónicos. Sugere-se, assim, resultados mais positivos em sistemas sónicos de alta frequência comparativamente aos sistemas sónicos de baixa frequência (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022 ; Urban et al., 2017).

Segundo uma análise clínica, EDDY teve uma resposta tão favorável quanto PUI, superiorizando-se à irrigação tradicional em canais retos ao nível de eliminação de “smear layer” e detritos. EDDY e EndoActivator possuem pontas flexíveis, pelo que a sua adaptabilidade e atingimento apical em canais radiculares curvos, além da capacidade de oscilar em contacto com o canal, pode proporcionar um benefício relativamente ao uso de PUI (Urban et al., 2017).

8. Discussão

A utilização de mecanismos de ativação do irrigante são positivos para o sucesso do tratamento endodôntico. Estes dispositivos promovem a distribuição da solução irrigativa ao longo do canal, melhorando a limpeza não só dos canais principais, mas também de zonas anatómicas complexas, diminuindo a dor pós-operatória (Susila & Minu, 2019).

A ativação sónica, vibrando a uma frequência inferior à ultrassónica, trabalha normalmente com uma peça de mão que se liga a uma ponta plástica, que pode possuir vários tamanhos. Ao vibrar sonicamente, leva a uma limpeza mais eficiente do canal principal, eliminando mais “smear layer” e permitindo a irrigação de canais laterais (Plotino et al., 2016).

A ativação ultrassónica funciona com uma frequência entre 24 e 40 kHz e também se afirmou como um método mais eficaz do que a irrigação tradicional. Seja por magnetostrição ou com unidades piezoelétricas a produzir energia, esta vai ser transmitida por uma lima ou fio oscilante, que promovem fluxo com maior velocidade e cavitação do líquido de irrigação, aumentando o contacto entre o irrigante e as paredes do canal. Consequentemente, a capacidade de eliminação de tecido pulpar e resíduos de dentina é favorecida (Gomes et al., 2023).

Quando foi realizada uma comparação destas duas técnicas de ativação, ao nível de ação antibacteriana, Hage et al. (2019) comparam a eliminação de *E. Faecalis* em dois sistemas específicos, além da irrigação convencional: EDDY (técnica sónica) e EndoUltra (método ultrassónico). Afirmam que, apesar de nenhuma técnica erradicar completamente *E. Faecalis*, as duas técnicas promoveram uma amplificação da sua eliminação, sem existirem diferenças estatisticamente significativas em relação às duas ativações. Enquanto Dumani et al. (2016) referem que a irrigação sónica foi eficaz na remoção da bactéria *E. Faecalis* das paredes do canal de dentes humanos extraídos, Briones et al. (2020) reforçam que a irrigação ultrassónica aumenta a capacidade

antibiofilme nos canais principais, mas salientam que em istmos o mesmo não se verifica. Chu et al. (2023) reforçam que a eliminação de microbiota em EDDY e irrigação ultrassónica é comparável, sem grandes diferenças de eficácia e Prada et al. (2019) asseveram também não existirem alterações estatisticamente significativas ao nível da percentagem de inativação de endotoxinas entre irrigação ultrassónica passiva e irrigação sónica. Azim et al. (2016) realizaram um estudo relativo à remoção bacteriana, tendo como referência a eliminação de *E. Faecalis* e verificaram que a ativação sónica, através do sistema EndoActivator, erradicou 93,3% das bactérias relativamente a um controlo negativo, aumentando a eficiência em relação à irrigação tradicional, não só superficialmente no canal principal, como também ao nível dos túbulos dentinários. Realçaram ainda a capacidade destacada de eliminação bacteriana no terço apical devido às características do seu antinodo (oscilação máxima) ocorrer na sua ponta. Balic et al. (2016) também estão de acordo que a eficácia de EndoActivator é significativamente superior quando comparada à da irrigação convencional. Por fim, Neuhaus et al. (2016) comparam uma técnica sónica com elevada frequência (6000 Hz) com uma PUI na eliminação de microrganismos endodónticos. Ambos os métodos levam ao aumento significativo do efeito antimicrobiano, mas o sónico é visto como tão ou mais competente nessa remoção, quer em canais retos, quer em canais curvos. Quando se fez a mesma análise sem o uso de irrigantes ativos, a técnica sónica foi mais eficaz na eliminação mecânica de microbiota (Azim et al., 2016 ; Balic et al., 2016 ; Briones et al., 2020 ; Chu et al., 2023 ; Dumani et al., 2016 ; Hage et al., 2019).

Relativamente à remoção de “smear layer”, Wigler et al. (2024) realizaram um estudo em 60 pré-molares com raízes curvas, cujos respetivos canais apresentam entre os 20° e os 30° de angulação. Este estudo dividiu o canal em três porções: coronal, média e apical, que seriam avaliadas como limpas ou não limpas. Concluíram que quer o método sónico EDDY, quer Irrisafe e Endosonic (técnicas ultrassónicas) levaram a 100% dos casos descritos como limpos no terço coronal. Já no terço médio, essa eficácia de limpeza diminuiu para entre 67% e 80% em todos os métodos, sendo rejeitada alguma diferença significativa de resultados entre as técnicas. Por fim, na zona apical, a remoção da “smear layer” foi considerada inadequada, já que 40% a 53% dos canais

foram dados como não limpos, sendo que esta avaliação é transversal a todos os métodos, pelo que não é considerada a existência de alguma diferença significativa em todos os setores, entre técnicas. Por sua vez, Andrabi et al. (2014) realizaram um estudo envolvendo a PUI e reforçam que esta é adjuvante na remoção eficaz da “smear layer” nos terços coronal e médio, mas a sua eficácia cai no terço apical. Já Dioguardi et al. (2018) analisam a irrigação ultrassónica como uma alternativa viável ao fluxo de irrigante e consecutiva remoção de “smear layer” até ao ápice. Chu et al. (2023) afirmam que EDDY e a irrigação ultrassónica ativa possui valores semelhantes na eliminação da “smear layer”. Por outro lado, Virdee et al. (2017) fazem uma análise em dentes maduros e concluem que a ativação sónica e ultrassónica melhoram significativamente a redução da “smear layer”, exceto no milímetro mais apical. A ativação ultrassónica tem um efeito negativo neste último milímetro. Por sua vez, Dadhich et al. (2023) constataam que, apesar de aparentemente o método EndoActivator ter resultados apicais mais positivos, quer a ativação sónica quer a ultrassónica podem levar a um desbridamento da “smear layer” mais elevado. Yeon et al. (2020) comparam os métodos EDDY, o método ultrassónico ENDOSONIC e o método ultrassónico adicional Piezon Master e concluem que os três grupos permitiram uma diminuição de “smear layer” sem diferenças significativas. Karadé et al. (2017) realizaram uma investigação sobre remoção de “smear layer” intracanal com uma amostra de 40 pré-molares. Dividiram esses 40 pré-molares em 10 por cada ativação (irrigação convencional, sónica, ultrassónica e Endovac, ou seja, por pressão negativa). Verificam que, dividindo o canal em três porções e comparando a ativação sónica da ultrassónica, em coronal, ambas tiveram uma taxa de sucesso de 90% de remoção de “smear layer”, já no terço médio a ativação ultrassónica mantém eficácia de 90% enquanto a sónica caiu para os 80%. No terço apical, nenhuma técnica foi capaz de eliminar “smear layer”, tendo assim uma eficiência nula (0%). Foi rejeitada a hipótese de existir alguma diferença de resultados entre os dois mecanismos. Urban et al. (2017) verificaram a eficácia da irrigação convencional, EDDY, PUI e EndoActivator na remoção de “smear layer” em 58 pré-molares mandibulares com canais retos. 48 dentes foram divididos igualmente, com 12 para cada grupo, e os 10 restantes foram utilizados como controlo negativo. EDDY e PUI exibiram resultados superiores à irrigação tradicional, ao passo

que EndoActivator não teve o mesmo efeito. Essa diferença entre dois métodos sónicos pode ser explicada pelas altas frequências de EDDY (6000 Hz) relativamente à frequência inferior (167 Hz) de EndoActivator. A frequência de 6000 Hz permite um maior fluxo de irrigante e, conseqüentemente, mais interação do líquido com as paredes do canal e eliminação de “smear layer”. Este resultado realça a disparidade entre técnicas sónicas de maiores e menores frequências. Retsas et al. (2016) fizeram um estudo com dois mecanismos ultrassónicos, utilizando limas K e também limas Irrisafe. Esta investigação alertou para o facto de os dois grupos executarem remoção descontrolada de dentina, apesar das limas K removerem mais dentina em relação às limas Irrisafe. Este estudo relaciona-se com o que defende Kim & Shin, (2017) relativamente à eliminação da “smear layer” visto que uma remoção descontrolada de dentina pode provocar a criação de uma nova de “smear layer”, aquando da eliminação da camada preexistente, já que a “smear layer” tem como constituintes tecido e fragmentos de dentina (Andrabi et al., 2014 ; Chu et al., 2013 ; Dadhich et al., 2023 ; Dioguardi et al., 2018 ; Karadé et al., 2017 ; Kim & Shin, 2017 ; Retsas et al., 2016; Urban et al., 2017 ; Virdee et al., 2017 ; Wigler et al., 2024 ; Yeon et al., 2020)

Virdee et al. (2017) concluem que a eliminação de detritos quer na irrigação sónica, quer em PUI melhora significativamente em relação à irrigação tradicional. Apesar disso, registou-se que, quer no terço coronal, quer no apical, a eliminação de detritos com PUI foi insignificante. Na irrigação sónica, apenas em apical é que se verificou o mesmo. Os autores rejeitaram que as diferenças das técnicas fossem significativas. Por sua vez, Haapasalo et al. (2014) relataram que a irrigação sónica e ultrassónica são mais eficazes na dissolução de tecido com hipoclorito de sódio do que a irrigação tradicional passiva, cerca de dez vezes, sem diferenças significativas entre si. Wigler et al. (2024) realizaram uma investigação em canais radiculares curvos que comparava a remoção de detritos, utilizando os métodos de irrigação tradicional, EDDY, EndoSonic e Irrisafe. Registou-se que os métodos sónico e ultrassónicos tinham uma eficácia de desinfeção de 100% nos terços coronal e médio dos canais e, enquanto EDDY manteve esses resultados no terço apical, os métodos de irrigação ultrassónica não apresentaram diferenças significativas para a irrigação convencional, que apresentou uma taxa de

limpeza de 53%. Chu et al. (2023) concordaram que o método EDDY e a irrigação ultrassónica ativa apresentam capacidade de promover a limpeza do canal quanto à eliminação de detritos e tecido mole equivalentes. Urban et al. (2017) analisaram que a utilização de EndoActivator, EDDY e PUI levou a que os pré molares mandibulares com canais retos que foram estudados ficassem com canais radiculares praticamente livres de detritos. Estes três métodos superaram a qualidade de erradicação de detritos da irrigação convencional sem ativação. Yeon et al. (2020) confirmaram que Piezon Master, ENDOSONIC e EDDY resultavam numa diminuição de detritos sem diferenças significativas. A importância de um preparo canalar prévio com um tamanho que permita expelir os detritos em direção apical para coronal foi realçada pelos investigadores e explica o sucesso na eliminação de detritos nesta investigação (Chu et al., 2023 ; Haapasalo et al., 2014 ; Urban et al., 2017 ; Virdee et al., 2017 ; Wigler et al., 2024 ; Yeon et al., 2020).

Uma variável importante é a capacidade da solução de penetrar em canais, e Souza et al. (2019) verificaram que PUI e irrigação ultrassónica contínua permitiram essa penetração até ao comprimento de trabalho em 80% e 85% das amostras, respetivamente. Nos canais laterais feitos artificialmente para fins de investigação, estas técnicas levaram a uma melhoria na distribuição de irrigante sem diferenças significativas, ao passo que a irrigação convencional com agulha e seringa foi ineficaz na promoção desta ação. Prada et al. (2019) analisaram uma investigação anterior ao seu estudo que apoiava que PUI melhorava a limpeza de istmos. Andrade-Junior et al. (2016) realizaram uma investigação em canais curvos e relatam que a penetração de irrigantes com PUI melhora a irrigação de canais laterais, já que a irrigação tradicional não permite o atingimento dessas zonas. Este mecanismo de ativação ultrassónica apresentou como grande desvantagem o facto de ter provocado irregularidades ou transporte apical de 9 em 10 amostras. Dadhich et al. (2023) compararam a capacidade de penetração das soluções com a irrigação convencional, ultrassónica e sónica (com o uso de EndoActivator). Verificaram que o método sónico foi o que mais promoveu a irrigação no terço apical, o que demonstra a sua eficácia acrescida em istmos e outras ramificações, bem como túbulos dentinários. Enquanto a irrigação tradicional com

agulha e seringa apresentou uma profundidade irrigativa nos túbulos dentinários de 594,38 μm , PUI atinge valores de 1947,051 μm . Apesar disso, EndoActivator revelou-se uma técnica com maior capacidade de penetração na dentina com 2277,358 μm de profundidade (Andrade-Junior et al., 2016 ; Dadhich et al., 2023 ; Prada et al., 2019 ; Souza et al., 2019).

Haapasalo et al. (2015) descreveram que valores negativos de pressão apical têm capacidade de prevenir acidentes de extrusão com soluções, nomeadamente com hipoclorito de sódio. A pressão apical na irrigação convencional atingiu valores entre 6,46 mmHg e 11,34 mmHg, pelo que havia a necessidade de analisar métodos alternativos mais seguros. Dioguardi et al. (2018) afirmaram que PUI não consegue promover segurança apical, promovendo mesmo um risco aumentado de extrusão pelo ápice. Um estudo realizado por Prada et al. (2019) é concordante com o anterior e afirma que a sua utilização fomenta uma menor segurança apical. Em contrapartida, EndoActivator revelou-se mais capaz de baixar os níveis de pressão já que não se verificou extrusão pelo ápice durante a sua aplicação (Dioguardi et al., 2018 ; Haapasalo et al., 2015 ; Prada et al., 2019).

Generalì et al. (2017) salientaram que a penetração de cimento obturador nos túbulos dentinários dependia não só da remoção de “smear layer”, mas também das características do cimento aplicado e do seu modo de colocação no canal. Realizaram uma investigação que comparava a penetração de cimento após ter realizado a irrigação com seringa e agulha, com EndoActivator e também com Irrisafe. Após realizar medições a 2 mm, 5mm e 7mm do ápice, concluíram que nem EndoActivator nem Irrisafe melhoraram a penetração de cimento ao longo dos canais, fossem eles retos ou curvos. Os estudos de Yilmaz et al. (2020) são concordantes com o anterior na medida em que também acreditam que a remoção de “smear layer” possa melhorar a penetração de cimento de obturação. A sua investigação comparava a penetração de cimento no terço apical de canais curvos com PUI, irrigação sónica e irrigação tradicional. Concluíram que nenhum sistema de ativação levava a diferenças estatisticamente

significativas, relativamente à irrigação com seringa e agulha, pelo que os métodos verificados não melhoram a penetração de cimento nos canais curvos (Generalì et al., 2017 ; Yilmaz et al., 2020).

A capacidade de remoção de medicação intracanal aquando da irrigação foi estudada por Moon et al. (2022), que afirmam que o facto de as pontas mais comuns dos instrumentos de ativação sónica serem flexíveis apoiam a remoção de hidróxido de cálcio em canais curvos. Topçuoğlu et al. (2016) realizaram um estudo de comparação de eliminação de pasta antibiótica tripla no terço coronal e apical dos canais. Como mecanismos comparativos, usaram a irrigação sónica através de Vibringe, PUI e irrigação tradicional. No terço coronal, verificaram que os três métodos eram eficazes e, apesar de nenhuma técnica levar à eliminação total, não se verificaram diferenças significativas. No terço apical, vibringe e PUI foram bastante superiores à irrigação convencional, sem diferenças significativas entre eles. Nenhuma ativação permitiu a eliminação total de medicação. Foi então recomendado que o protocolo de irrigação para eliminação de medicação intracanal envolvesse o uso de hipoclorito de sódio e EDTA acompanhados por uma ativação sónica ou ultrassónica (Moon et al., 2022 ; Topçuoğlu et al., 2016).

Por fim, a capacidade de remoção de material de obturação foi analisada por Yeon et al. (2020), que compararam os métodos Piezon Master, ENDOSONIC, EDDY e irrigação tradicional e concluíram que nenhum método de ativação, quer sónico, quer ultrassónico, permitiu a remoção de material de obturação. Isto pode ser explicado pela elevada resistência de ligação do material obturador à dentina, força essa que provavelmente supera a força do fluxo promovida no irrigante pelas ativações (Yeon et al., 2020).

Conclusão

É importante reconhecer o biofilme como uma comunidade microbiana fixa a superfícies e resiliente perante ataques externos. A bactéria *E. Faecalis* apresenta um papel de destaque devido à sua capacidade de formar biofilmes e sobreviver em condições hostis, e pode estar presente na saliva e nos biofilmes que se apresentam num problema endodôntico. A irrigação endodôntica tem um papel fulcral no tratamento destes problemas, permitindo apoiar a instrumentação na eliminação de biofilmes, tecido e detritos. Para isso, é necessário conhecer os irrigantes que se devem utilizar.

A clorhexidina e o hipoclorito de sódio são dois irrigantes de destaque, sendo que a clorhexidina possui substantividade. Por sua vez, o hipoclorito de sódio é o irrigante principal mais utilizado devido à sua capacidade antimicrobiana aprimorada e de dissolução orgânica. Face à incapacidade destes irrigantes em eliminar matéria inorgânica, torna-se indispensável a utilização de um agente quelante. O EDTA é a solução mais utilizada, permitindo eliminar a “smear layer” que é formada durante a instrumentação. O ácido cítrico pode ser uma alternativa eficaz para esta solução.

A ativação do irrigante fomenta uma maior penetração destas soluções e permite uma resposta mais acentuada da irrigação relativamente à irrigação convencional, já que o método tradicional apenas permite ao irrigante fluir 1 a 3 mm para além da ponta da lima. Assim, a ativação promove maior eliminação de detritos, de tecido e de biofilme.

A ativação ultrassónica destaca-se pela sua frequência elevada (de 25 a 40 kHz) e o fluxo acústico e a cavitação que geram permite uma tensão de cisalhamento e fluxo de irrigante bastante elevados. Estes fatores promovem um contacto mais íntimo entre a solução e o canal, o que impulsiona a desinfecção canalar. Um efeito negativo é a possibilidade de se gerar uma remoção descontrolada de dentina, formando uma nova “smear layer” e transporte apical.

A irrigação sónica atua a frequências mais baixas e normalmente atua com uma peça de mão ligada a pontas flexíveis de polímero, permitindo diminuir essa remoção não intencional de dentina. Apesar da cavitação apenas se gerar nos métodos sónicos com uma frequência mais elevada, a amplitude de movimento das pontas sónicas pode permitir uma desinfeção adequada, com muitos estudos a destacarem a possibilidade do antinodo dessas limas promover boa eficiência apical, incluindo em canais curvos. As características dos métodos sónicos de maior e menor frequência também são variáveis.

A ativação ultrassónica e sónica apresentaram-se, em geral, como benéficas durante a irrigação endodôntica, sendo esse facto amplamente aceite na literatura científica. No entanto, para comparar qual a ativação mais adequada a utilizar, além da resposta não ser absoluta para todos os casos, serão necessários melhor padronização de protocolos clínicos de acordo com a ativação e o mecanismo específico a usar. Deste modo, é possível o Médico Dentista concluir qual o procedimento a realizar em intervenções endodônticas, de acordo com as características específicas de cada caso, permitindo uma abordagem clínica mais esclarecida e eficaz.

Bibliografija

Alghamdi, F., & Shakir, M. (2020). The influence of enterococcus faecalis as a dental root canal pathogen on endodontic treatment: A Systematic Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.7257>

Ali, L., Goraya, M., Arafat, Y., Ajmal, M., Chen, J.L., & Yu, D. (2017). Molecular mechanism of quorum- sensing in enterococcus faecalis: its role in virulence and therapeutic approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(5), 960. <https://doi.org/10.3390/ijms18050960>

Andrabi, N., Kumar, A., Zia, A., Iftekhhar, H., Alam, S., & Siddiqui, S. (2014). Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 5(3), 188–193. <https://doi.org/10.1111/jicd.12033>

Andrade-Junior, C. V., Batista, R. M., Marceliano Alves, M., Alves, F., & Leal Silva, E. J. N. (2016). Efficacy of a new activation device in irrigant penetration into simulated lateral canals. *European Endodontic Journal*, 2–2. <https://doi.org/10.5152/ej.2016.16003>

Azim, A. A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J. P., & Huang, G. T.-J. . (2016). Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of Endodontics*, 42(6), 928–934. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.03.009>

Balić, M., Lucić, R., Mehadžić, K., Bago, I., Anić, I., Jakovljević, S., & Plečko, V. (2016). The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal E. faecalis biofilm. *Lasers in Medical Science*, 31(2), 335–342. <https://doi.org/10.1007/s10103-015-1864-9>

Boutsioukis, C., & Tzimpoulas, N. (2016). Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation. *Journal of Endodontics*, 42(2), 289–293. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.09.017>

Boutsioukis, C., & Nova, P. G. (2021). Syringe irrigation in minimally shaped root canals using 3 endodontic needles: A computational fluid dynamics study. *Journal of Endodontics*, 47(9), 1487–1495. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.001>

Boutsioukis, C. & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions : Irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, 55, 588–612. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>

Briones, N. V., Baca, P., Bravo, M., Solana, C., Pérez, B. A., Linares, M. R., & Arias-Moliz, M. T. (2020). A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International Endodontic Journal*, 54(2), 268–278. <https://doi.org/10.1111/iej.13417>

Chen, J. E., Nurbakhsh, B., Layton, G., Bussmann, M., & Kishen, A. (2014). Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: A computational fluid dynamics analysis. *Australian Endodontic Journal*, 40(2), 54–60. <https://doi.org/10.1111/aej.12027>

Choi, Y.-S., Kim, C., Moon, J.-H., & Lee, J.-Y. (2018). Removal and killing of multispecies endodontic biofilms by N -acetylcysteine. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.04.003>

Chu, X., Feng, S., Zhou, W., Xu, S., & Zeng, X. (2023). Cleaning efficacy of EDDY versus ultrasonically- activated irrigation in root canals: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02875-6>

Dadhich, S., Srivastava, H., Raisingani, D., Prasad, A. B., Vijaywargiya, S., & Moryani, V. (2023). Comparative evaluation of penetration depth of irrigants into root dentin after manual sonic and ultrasonic activation using dye penetration method under light microscope: An In Vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 16(S3), S253–S257. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2688>

Darcey, J., Jawad, S., Taylor, C., Roudsari, R. V., & Hunter, M. (2016). Modern endodontic principles part 4: Irrigation. *Dental Update*, 43(1), 20–33. <https://doi.org/10.12968/denu.2016.43.1.20>

Dioguardi, M., Di Gioia, G., Illuzzi, G., Laneve, E., Cocco, A., & Troiano, G. (2018). Endodontic irrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. *European Journal of Dentistry*, 12(3), 459–466. https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_56_18

Dumani, A., Guvenmez, H. K., Yilmaz, S., Yoldas, O., & Kurklu, Z. G. B. (2016). Antibacterial efficacy of calcium hypochlorite with vibringe sonic irrigation system on enterococcus faecalis: An in vitro study. *BioMed Research International*, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2016/8076131>

Filho, M.T., Torres, F. F. E., Andrade, G. M. C., Miano, L. M., & Tanomaru, J. M.G. (2016). Intermittent or continuous ultrasonically activated irrigation: micro-computed tomographic evaluation of root canal system cleaning. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1541–1546. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1645-7>

Garg, A.; Mala, K.; Kamath, P. (2021). Biofilm models in endodontics-A narrative review. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(1), 2. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_621_20

Generali, L., Cavani, F., Serena, V., Pettenati, C., Righi, E., & Bertoldi, C. (2017). Effect of different irrigation systems on sealer penetration into dentinal tubules. *Journal of Endodontics*, 43(4), 652–656. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.12.004>

Ghorbanzadeh, A., Aminsobhani, M., Sohrabi, K., Chiniforush, N., Ghafari, S., Shamshiri, A. R., & Noroozi, N. (2016). Penetration depth of sodium hypochlorite in dentinal tubules after conventional irrigation, passive ultrasonic agitation and nd:YAG laser activated irrigation. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 7(2), 105–111. <https://doi.org/10.15171/jlms.2016.18>

Gomes, B., Aveiro, E. & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 34(4), 1–33. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305577>

Gonçalves, S., Rodrigues, V., Andrade Junior, V., Soares, G., & Vettore, V. (2016). The effect of sodium hypochlorite and chlorhexidine as irrigant solutions for root canal disinfection: A systematic review of clinical trials. *Journal of Endodontics*, 42(4), 527–532. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.021>

Gregorio, C., Arias, A., Navarrete, N., Cisneros, R., & Cohenca, N. (2015). Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists. *The Journal of the American Dental Association*, 146(7), 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2015.01.027>

Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British Dental Journal*, 216(6), 299–303. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.204>

Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., Park, E., Curtis, A., Patel, P., & Vandrangi, P. (2015). Apical pressure created during irrigation with the GentleWave™ system compared to conventional syringe irrigation. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1525–1534. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1632-z>

Hage, W., De Moor, R. J. G., Hajj, D., Sfeir, G., Sarkis, D. K., & Zogheib, C. (2019). Impact of different irrigant agitation methods on bacterial elimination from infected root canals. *Dentistry Journal*, 7(3), 64. <https://doi.org/10.3390/dj7030064>

Jamal, M., Ahmad, W., Andleeb, S., Jalil, F., Imran, M., Nawaz, M. A., Hussain, T., Ali, M., Rafiq, M., & Kamil, M. A. (2018). Bacterial biofilm and associated infections. *Journal of the Chinese Medical Association : JCMA*, 81(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2017.07.012>

Jhajharia, K., Mehta, L., Parolia, A., & Shetty, K. V. (2015). Biofilm in endodontics: A review. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.151956>

Junior, J. F. S., Rôças, I. N., Alves, M. F. M., Pérez, A. R., & Ricucci, D. (2018). Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research*, 32. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>

Karade, P., Chopade, R., Patil, S., Hoshing, U., Rao, M., Rane, N., Chopade, A., & Kulkarni, A. (2017). Efficiency of different endodontic irrigation and activation systems in removal of the smear layer: A scanning electron microscopy study. *Iranian Endodontic Journal*, 12(4), 414–418. <https://doi.org/10.22037/iej.v12i4.9571>

Kato, A. S., Cunha, R. S., da Silveira Bueno, C. E., Pelegrine, R. A., Fontana, C. E., & de Martin, A. S. (2016). Investigation of the efficacy of passive ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation: An environmental scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 42(4), 659– 663. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.01.016>

Kim, S. W., & Shin, D. H. (2017). Antibacterial effect of urushiol on *E. faecalis* as a root canal irrigant. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 42(1), 54. <https://doi.org/10.5395/rde.2017.42.1.54>

Layton, G., Wu, W., Selvaganapathy, P. R., Friedman, S., & Kishen, A. (2015). Fluid dynamics and biofilm removal generated by syringe-delivered and 2 ultrasonic-assisted irrigation methods: A novel experimental approach. *Journal of Endodontics*, 41(6), 884–889. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.01.027>

Macedo, R., Verhaagen, B., Rivas, D. F., Versluis, M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. (2014). Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *Journal of Endodontics*, 40(4), 580–583. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.018>

Middha, M., Sangwan, P., Tewari, S., & Duhan, J. (2016). Effect of continuous ultrasonic irrigation on postoperative pain in mandibular molars with nonvital pulps: A randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 50(6), 522–530. <https://doi.org/10.1111/iej.12666>

Moon, W., Chung, S. H., & Chang, J. (2022). Sonic irrigation for removal of calcium hydroxide in the apical root canal: A micro-CT and light-coupled tracking analysis. *PLOS ONE*, 17(6), e0268791– e0268791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268791>

Neelakantan, P., Romero, M., Vera, J., Daood, U., Khan, A. U., Yan, A., & Cheung, G. S. P. (2017). Biofilms in Endodontics—Current status and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/ijms18081748>

Neelakantan, P., Herrera, D., Pecorari, V., & Gomes, B. (2018). Endotoxin levels after chemomechanical preparation of root canals with sodium hypochlorite or chlorhexidine: A systematic review of clinical trials and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 52(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/iej.12963>

Neuhaus, K. W., Liebi, M., Stauffacher, S., Eick, S., & Lussi, A. (2016). Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1799–1803. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.024>

Plotino, G., Cortese, T., Grande, N. M., Leonardi, D. P., Di Giorgio, G., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2016). New technologies to improve root canal disinfection. *Brazilian Dental Journal*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600726>

Prada, I., Muñoz, P. M., Lluesma, T. G., Martínez, P. M., Rodríguez, S. M., & Montegudo, A. A. (2019). Update of the therapeutic planning of irrigation and intracanal medication in root canal treatment. A literature review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 11(2), e185–e193. <https://doi.org/10.4317/jced.55560>

Rahimi, S., Janani, M., Lotfi, M., Shahi, S., Aghbali, A., Vahid, M., Salem, A., & Ghasemi, N. (2014). A review of antibacterial agents in endodontic treatment. *Iranian Endodontic Journal*, 9(3), 161–168. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4099945/>

Raj, S., Dhingra, A., Jha, P., Nikhil, V., Ravinder, & R. Mishra, P., (2021). To compare the continuous and intermittent irrigation method on the removal of dentin debris from root canals and to evaluate the dynamics of irrigant flow using computational fluid dynamics. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(1), 94. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_636_20

Retsas, A., Koursoumis, A., Tzimpoulas, N., & Boutsoukis, C. (2016). Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation in curved root canals. *Journal of Endodontics*, 42(10), 1545–1549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.07.006>

Șchiopu, P., Țoc, D.A., Colosi, I.A., Costache, C., Ruospo, G., Berar, G., Gălbău Ș. V., Ghilea A. C., Botan, A., Panà, A., Neculicioiu, V.S., & Todea, D. A. (2023). An overview of the factors involved in biofilm production by the enterococcus genus. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14), 11577–11577. <https://doi.org/10.3390/ijms241411577>

Souza, C., Bueno, C., Kato, A., Limoeiro, A., Fontana, C., & Pelegrine, R. (2019). Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *Journal of Conservative Dentistry*, 22(2), 155. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_387_18

Susila, A., & Minu, J (2019). Activated irrigation vs. conventional non-activated irrigation in endodontics – A Systematic Review. *European Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.14744/eej.2019.80774>

Tonini, R., Salvadori, M., Audino, E., Sauro, S., Garo, M. L., & Salgarello, S. (2022). Irrigating solutions and activation methods used in clinical endodontics: a systematic review. *Frontiers in Oral Health*, 3. <https://doi.org/10.3389/froh.2022.838043>

Topçuoğlu, H., Akti, A., Topçuoğlu, G., Düzgün, S., Ulasan, Ö., & Akpek, F. (2016). Effectiveness of conventional syringe irrigation, vibringe, and passive ultrasonic irrigation performed with different irrigation regimes in removing triple antibiotic paste from simulated root canal irregularities. *Journal of Conservative Dentistry*, 19(4), 323. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.186452>

Urban, K., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2017). Canal cleanliness using different irrigation activation systems: A sem evaluation. *Clinical Oral Investigations*, 21(9), 2681–2687. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2070-x>

Verhaagen, B., Boutsoukis, C., van der Sluis, L. W. M., & Versluis, M. (2014). Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 1717–1730. <https://doi.org/10.1121/1.4868397>

Virdee, S. S., Seymour, D. W., Farnell, D., Bhamra, G., & Bhakta, S. (2017). Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 51(6), 605–621. <https://doi.org/10.1111/iej.12877>

Virdee, S., Farnell, D., Silva, M., Camilleri, J., Cooper, P., & Tomson, P. (2020). The influence of irrigant activation, concentration and contact time on sodium hypochlorite penetration into root dentine: An ex vivo experiment. *International Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.1111/iej.13290>

Wigler, R., Srour, Y., Wilchfort, Y., Metzger, Z., & Kfir, A. (2024). Debris and Smear Layer Removal in Curved Root Canals: A comparative study of ultrasonic and sonic irrigant activation techniques. *Dentistry Journal*, 12(3), 51. <https://doi.org/10.3390/dj12030051>

Yang, S., Meng, X., Zhen, Y., Baima, Q., Wang, Y., Jiang, X., & Xu, Z. (2024). Strategies and mechanisms targeting enterococcus faecalis biofilms associated with endodontic infections: a comprehensive review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1433313. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1433313>

Yeon, P. S., Kang, M. K., Choi, H. W., & Shon, W. J. (2020). Comparative analysis of root canal filling debris and smear layer removal efficacy using various root canal activation systems during endodontic retreatment. *Medicina*, 56(11), 615. <https://doi.org/10.3390/medicina56110615>

Yilmaz, A., Yalcin, T. Y., & Helvacioğlu-Yigit, D. (2020). Effectiveness of various final irrigation techniques on sealer penetration in curved roots: A confocal laser scanning microscopy study. *BioMed Research International*, 2020, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/8060489>

Zhang, C., Du, J., & Peng, Z. (2015). Correlation between enterococcus faecalis and persistent intraradicular infection compared with primary intraradicular infection: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 41(8), 1207–1213. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.008>

Zollinger, A., Attin, T., Mohn, D., & Zehnder, M. (2019). Effects of endodontic irrigants on blood and blood- stained dentin. *Heliyon*, 5(5), e01794. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01794>