Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

doi.org/10.51891/rease.v12i11.32095

EFICÁCIA DE DIFERENTES SOLUÇÕES IRRIGADORAS NA DESCONTAMINAÇÃO DO CANAL RADICULAR: REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

EFFICACY OF DIFFERENT IRRIGATING SOLUTIONS IN ROOT CANAL DECONTAMINATION: A NARRATIVE LITERATURE REVIEW

EFICACIA DE DIFERENTES SOLUCIONES IRRIGADORAS EN LA DESCONTAMINACIÓN DEL CONDUCTO RADICULAR: REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA

Bárbara Neumann Magalhães[1]
Nicolle Gonzalez Zanella[2]
Alexandre Kraemer[3]

RESUMO: A descontaminação do sistema de canais radiculares é determinante para o sucesso do tratamento endodôntico, e a irrigação química complementa a instrumentação mecânica, que não alcança toda a complexidade anatômica radicular. Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de revisão narrativa da literatura, as evidências sobre as diferenças na eficácia de descontaminação do canal radicular entre as principais soluções irrigadoras. A busca foi realizada na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), em abril de 2026, com descritores DeCS/MeSH relacionados a irrigantes do canal radicular, descontaminação, agentes anti-infecciosos e biofilmes, considerando publicações de 2021 a 2026 em inglês, português e espanhol. Dos 94 registros identificados, 24 foram lidos na íntegra, e 14 estudos foram incluídos, dos quais dois são estudos clássicos obtidos por busca manual. Os resultados indicam que o hipoclorito de sódio permanece como irrigante de referência, por associar ação antimicrobiana à dissolução de tecido orgânico e da matriz do biofilme, embora apresente maior citotoxicidade. A clorexidina a 2% mostra eficácia comparável em muitos modelos laboratoriais, além de substantividade, mas não dissolve tecidos e tem desempenho inferior em biofilmes multiespécies maduros. O EDTA atua como complemento na remoção da smear layer, e os protocolos combinados e sequenciais apresentaram os melhores resultados. Agentes alternativos, como dióxido de cloro, PHMB, peptídeo DJK-5 e soluções naturais, são promissores, mas apoiados em evidências predominantemente laboratoriais. Conclui-se que a combinação racional de irrigantes, respeitando suas interações químicas, é a estratégia mais eficaz, sendo necessários ensaios clínicos que confirmem esses achados.

Palavras-chave: Irrigantes do canal radicular. Descontaminação. Hipoclorito de sódio. Clorexidina. Biofilmes.

[1] Graduanda em Odontologia. Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Curso de Odontologia, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
[2] Graduanda em Odontologia. Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Curso de Odontologia, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
[3] Orientador. Mestre em Saúde Pública em Região de Fronteira. Docente do Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Curso de Odontologia, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

ABSTRACT: Decontamination of the root canal system is decisive for the success of endodontic treatment, and chemical irrigation complements mechanical instrumentation, which cannot reach the entire anatomical complexity of the root canal. This study aimed to analyze, through a narrative literature review, the evidence on differences in root canal decontamination efficacy among the main irrigating solutions. The search was carried out in the Virtual Health Library (BVS) in April 2026, using DeCS/MeSH descriptors related to root canal irrigants, decontamination, anti-infective agents and biofilms, considering publications from 2021 to 2026 in English, Portuguese and Spanish. Of the 94 records identified, 24 were read in full and 14 studies were included, two of which were classic studies obtained by manual search. The results indicate that sodium hypochlorite remains the reference irrigant, as it combines antimicrobial action with the dissolution of organic tissue and of the biofilm matrix, although it shows higher cytotoxicity. Chlorhexidine 2% shows comparable efficacy in many laboratory models, in addition to substantivity, but does not dissolve tissue and performs worse against mature multispecies biofilms. EDTA acts as a complement in smear layer removal, and combined and sequential protocols showed the best results. Alternative agents, such as chlorine dioxide, PHMB, the DJK-5 peptide and natural solutions, are promising but supported by predominantly laboratory evidence. It is concluded that the rational combination of irrigants, respecting their chemical interactions, is the most effective strategy, and clinical trials are needed to confirm these findings.

Keywords: Root canal irrigants. Decontamination. Sodium hypochlorite. Chlorhexidine. Biofilms.

RESUMEN: La descontaminación del sistema de conductos radiculares es determinante para el éxito del tratamiento endodóntico, y la irrigación química complementa la instrumentación mecánica, que no alcanza toda la complejidad anatómica radicular. Este trabajo tuvo como objetivo analizar, mediante una revisión narrativa de la literatura, la evidencia sobre las diferencias en la eficacia de descontaminación del conducto radicular entre las principales soluciones irrigadoras. La búsqueda se realizó en la Biblioteca Virtual en Salud (BVS), en abril de 2026, con descriptores DeCS/MeSH relacionados con irrigantes del conducto radicular, descontaminación, agentes antiinfecciosos y biopelículas, considerando publicaciones de 2021 a 2026 en inglés, portugués y español. De los 94 registros identificados, 24 se leyeron íntegramente y se incluyeron 14 estudios, dos de ellos clásicos obtenidos por búsqueda manual. Los resultados indican que el hipoclorito de sodio sigue siendo el irrigante de referencia, por asociar acción antimicrobiana y disolución del tejido orgánico y de la matriz de la biopelícula, aunque presenta mayor citotoxicidad. La clorhexidina al 2% muestra una eficacia comparable en muchos modelos de laboratorio, además de sustantividad, pero no disuelve tejidos y tiene un desempeño inferior frente a biopelículas multiespecie maduras. El EDTA actúa como complemento en la remoción del barrillo dentinario, y los protocolos combinados y secuenciales presentaron los mejores resultados. Agentes alternativos, como el dióxido de cloro, la PHMB, el péptido DJK-5 y las soluciones naturales, son prometedores, pero se apoyan en evidencias predominantemente de laboratorio. Se concluye que la combinación racional de irrigantes, respetando sus interacciones químicas, es la estrategia más eficaz, y se necesitan ensayos clínicos que confirmen estos hallazgos.

Palabras clave: Irrigantes del conducto radicular. Descontaminación. Hipoclorito de sodio. Clorhexidina. Biopelículas.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico tem como objetivo principal a eliminação de microrganismos do sistema de canais radiculares, proporcionando condições biológicas favoráveis ao reparo dos tecidos periapicais. A descontaminação adequada é considerada fator determinante para o sucesso clínico da terapia endodôntica, uma vez que a presença de microrganismos residuais

está diretamente associada à persistência de infecções e ao insucesso do tratamento (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022).

A complexidade anatômica do sistema de canais radiculares, com suas ramificações, istmos, deltas apicais e irregularidades, constitui um desafio significativo para a instrumentação mecânica isolada. Estudos demonstram que o preparo mecânico, por si só, não é capaz de alcançar todas as áreas do canal, deixando regiões não tocadas que podem abrigar microrganismos e biofilmes organizados. Nesse contexto, a irrigação química assume papel complementar essencial, sendo responsável por promover a dissolução de tecidos orgânicos e inorgânicos, a ação antimicrobiana e a remoção de debris e *smear layer* (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022; Lozano et al., 2026).

Diversas soluções irrigadoras estão disponíveis para uso endodôntico, cada uma com propriedades químicas e biológicas distintas. O hipoclorito de sódio (NaOCl), em diferentes concentrações, permanece como o irrigante mais amplamente utilizado, em razão de sua capacidade de dissolução tecidual e amplo espectro antimicrobiano. A clorexidina (CHX), o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), o ácido cítrico e soluções mais recentes, como o MTAD e o QMix, também são descritas na literatura, cada uma apresentando vantagens e limitações específicas (Boutsioukis; Arias-Moliz; Chávez de Paz, 2022).

Diante da variedade de opções disponíveis, torna-se relevante reunir, analisar e discutir as evidências científicas que comparem a eficácia dessas soluções na descontaminação do canal radicular. Para tanto, este trabalho realizou uma revisão narrativa da literatura, orientada pela seguinte questão norteadora, formulada a partir da estratégia PICo (População, Interesse, Contexto): quais são as evidências disponíveis na literatura acerca das diferenças na eficácia de descontaminação do canal radicular entre as principais soluções irrigadoras utilizadas no tratamento endodôntico?

A estratégia PICo foi definida da seguinte forma: P (População): canais radiculares contaminados (dentes com infecção endodôntica); I (Interesse): eficácia das diferentes soluções irrigadoras na descontaminação; Co (Contexto): tratamento endodôntico.

Assim, este estudo teve como objetivo analisar, por meio de revisão narrativa da literatura, as evidências científicas sobre as diferenças na eficácia de descontaminação do canal radicular entre as principais soluções irrigadoras, identificando-as, descrevendo seus mecanismos de ação antimicrobiana e de dissolução tecidual e comparando sua capacidade de eliminação de microrganismos e biofilmes endodônticos.

2 MÉTODOS

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A revisão narrativa permite a análise ampla e crítica de publicações sobre um tema, sem a exigência de protocolos rígidos e reprodutíveis de busca e seleção, sendo adequada para sintetizar o estado da arte e identificar lacunas no conhecimento. Diferentemente das revisões sistemáticas, a revisão narrativa não se propõe a esgotar as fontes de informação, mas sim a oferecer um panorama abrangente e contextualizado do tema investigado.

A busca bibliográfica foi realizada na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), que centraliza o acesso a diversas bases de dados, incluindo MEDLINE, LILACS e IBECS. Foram utilizados os descritores controlados DeCS/MeSH "Irrigantes do Canal Radicular" (*Root Canal Irrigants*), "Descontaminação" (*Decontamination*), "Anti-Infecciosos" (*Anti-Infective Agents*) e "Biofilmes" (*Biofilms*), na seguinte estratégia de busca:

("Root Canal Irrigants") AND ("Decontamination" OR "Anti-Infective Agents" OR "Biofilms") AND fulltext:("1") AND mj:("Irrigantes do Canal Radicular") AND la:("en" OR "pt" OR "es") AND (year_cluster:[2021 TO 2026]) AND instance:"regional"

A busca foi realizada em abril de 2026 e retornou 94 registros.

Foram incluídos estudos que atendessem aos seguintes critérios:

(a) estudos que comparassem a eficácia antimicrobiana ou de descontaminação de pelo menos duas soluções irrigadoras diferentes no contexto do tratamento endodôntico; (b) estudos *in vitro*, ex vivo, *in vivo* ou revisões de literatura com foco na descontaminação do canal radicular; (c) publicados entre 2021 e 2026; (d) redigidos em inglês, português ou espanhol; (e) com texto completo disponível.

Foram excluídos:

(a) estudos focados exclusivamente em métodos de ativação da irrigação (ultrassônica, sônica, laser) sem comparar diferentes soluções irrigadoras entre si; (b) estudos sobre medicações intracanal (hidróxido de cálcio, cimentos biocerâmicos) que não avaliassem soluções irrigadoras; (c) estudos sobre agentes experimentais sem aplicação clínica estabelecida (nanopartículas, *quantum dots*, grafeno, fotossensibilizadores, plasmas não térmicos); (d) estudos focados exclusivamente na remoção de *smear layer* sem avaliação da eficácia antimicrobiana; (e) estudos realizados exclusivamente em dentes decíduos; (f) publicações duplicadas (mesmos dados em diferentes veículos); (g) teses e dissertações quando houvesse artigo publicado correspondente.

A busca na BVS, utilizando a estratégia descrita anteriormente, foi realizada em abril de 2026 e retornou 94 registros. Os filtros aplicados diretamente na plataforma incluíram: texto completo disponível, assunto principal "Irrigantes do Canal Radicular", idiomas inglês, português e espanhol, período de publicação entre 2021 e 2026 e instância regional.

Os 94 registros foram submetidos à leitura de títulos e resumos, com aplicação dos critérios de inclusão e exclusão definidos anteriormente. Nessa etapa, a ferramenta de inteligência artificial Claude (Anthropic) foi utilizada como recurso auxiliar para organizar e categorizar os registros, sendo todas as decisões de inclusão e exclusão tomadas pelas autoras e validadas pelo orientador.

Na triagem por título e resumo, 70 registros foram excluídos por foco exclusivo em métodos de ativação sem comparação entre soluções (n = 28), medicações intracanal (n = 10), agentes experimentais sem aplicação clínica estabelecida (n = 15), foco exclusivo em smear layer (n = 3), dentes decíduos (n = 2), duplicidade (n = 1), fitoterápicos muito específicos (n = 5) e estudos metodológicos sobre modelos experimentais (n = 6), restando 24 artigos para leitura na íntegra.

Os 24 artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra pelas pesquisadoras para confirmação da elegibilidade e extração dos dados. Nessa etapa, 11 estudos foram incluídos e os demais foram excluídos por não integrarem no assunto. Por se tratar de revisão narrativa, as pesquisadoras optaram por manter estudos que, embora tangenciem os critérios de exclusão — como a ativação térmica ou por laser do hipoclorito de sódio, agentes em investigação, modelos experimentais e dentes decíduos —, oferecem comparações diretas com o hipoclorito de sódio ou com a clorexidina, ou discutem fatores que modificam a eficácia dessas soluções. Somaram-se a eles dois estudos clássicos identificados por busca manual (Ferraz et al., 2007; Elakanti et al., 2015), por constituírem referências frequentes na comparação direta entre clorexidina, hipoclorito de sódio e QMix, totalizando 14 estudos incluídos, apresentados no Quadro 1.

Por tratar-se de revisão da literatura, o presente estudo utilizou exclusivamente dados de domínio público, provenientes de artigos científicos já publicados, sem envolver seres humanos, animais ou material biológico. Dessa forma, não se fez necessária a submissão ao sistema CEP/Conep, conforme o art. 1º, parágrafo único, inciso VI, da Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde (Brasil, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 14 estudos incluídos nesta revisão estão sintetizados no Quadro 1 e são discutidos individualmente nas seções a seguir, seguidos de uma síntese comparativa das soluções irrigadoras, organizada conforme os objetivos específicos do trabalho.

Quadro 1 – Estudos incluídos na revisão

Autor (ano)	Tipo de estudo	Soluções/fatores avaliados	Principais achados
Queiroz e Nóbrega (2022)	Revisão integrativa (15 estudos in vitro)	CHX 2% × NaOCl ≥ 2,5%	8 estudos sem diferença, 5 favoráveis ao NaOCl e 2 à CHX; ambas viáveis clinicamente
Şenel, Uzun e Alqawasmi (2025)	In vitro (canais simulados em 3D)	NaOCl 2,5% a 21–150 °C	Aquecimento intracanal (150 °C) aumentou a remoção de biofilme no istmo
Meire e De Moor (2024)	Revisão narrativa	Irrigação ativada por laser	Ativação potencializa o NaOCl em laboratório; benefício clínico não confirmado
Tekinarslan et al. (2025)	In vitro (biofilme misto, CLSM)	NaOCl 2,5%, CHX 2%, PHMB 0,2% e combinações	Protocolos combinados superiores; nenhuma solução eliminou totalmente o biofilme
Amhmed et al. (2024)	In vitro (blocos de dentina)	NaOCl 6% + EDTA ± peptídeo DJK-5	DJK-5 + EDTA aumentou a eliminação bacteriana e retardou a recuperação do biofilme
Boutsioukis e Arias-Moliz (2022)	Revisão de literatura	Irrigantes e métodos de irrigação	NaOCl é a principal escolha; EDTA complementar; CHX com limitações em biofilmes
Boutsioukis, Arias-Moliz e Chávez de Paz (2022)	Revisão crítica metodológica	Modelos experimentais de estudo	Modelos simplificados superestimam a CHX; em biofilmes maduros, o NaOCl é superior
Gugliani et al. (2025)	In vitro	Salina, EDTA 17%, ácido fítico 1%, quitosana 0,2% (após NaOCl 1,5%)	Quitosana com maior ação antibiofilme e maior liberação de fatores de crescimento
Shmueli et al. (2024)	Ex vivo (molares decíduos)	NaOCl 2,5% × CHX 0,2% e 2%	Eficácia global semelhante; NaOCl com maior penetração tubular
Ferraz et al. (2024)	Revisão sistemática com metanálise em rede	Soluções naturais × NaOCl e CHX	Soluções naturais não superaram o NaOCl; papel complementar
Shimaoka et al. (2025)	In vitro	Dióxido de cloro aquoso (MA-T) × NaOCl	Eficácia semelhante ao NaOCl 2,5% com menor citotoxicidade
Ferraz et al. (2007)	In vitro (difusão em ágar)	CHX gel e solução × NaOCl 0,5–5,25%	CHX 2% gel com maiores halos de inibição; NaOCl em baixas concentrações pouco eficaz
Lozano et al. (2026)	Revisão comparativa	NaOCl, CHX, salina e EDTA	Funções complementares; combinação sequencial equilibra eficácia e biocompatibilidade
Elakanti et al. (2015)	In vitro (80 pré-molares)	QMix 2 em 1 × NaOCl 5,25% × CHX 2%	QMix superior contra E. faecalis e C. albicans; NaOCl e CHX equivalentes

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

3.1 Clorexidina versus hipoclorito de sódio: revisão integrativa

O artigo "Comparação da propriedade antimicrobiana da clorexidina e do hipoclorito de sódio como irrigantes endodônticos: uma revisão integrativa", publicado por Queiroz e Nóbrega (2022) na Revista Ciência Plural, analisa e compara a eficácia antimicrobiana dessas duas soluções utilizadas durante o tratamento endodôntico.

Para comparar a ação antimicrobiana dessas substâncias, Queiroz e Nóbrega (2022) realizaram uma revisão integrativa da literatura, com buscas nas bases PubMed/MEDLINE, LILACS e SciELO. Foram considerados estudos experimentais laboratoriais *in vitro*, publicados entre 2017 e 2021, que compararam a clorexidina a 2% com o hipoclorito de sódio em concentrações iguais ou superiores a 2,5%. Inicialmente, foram encontrados 165 artigos, dos quais 15 foram selecionados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Os estudos analisados investigaram a atividade antimicrobiana das soluções contra diferentes microrganismos associados às infecções endodônticas, incluindo *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans* e outras espécies bacterianas presentes em biofilmes.

Os resultados demonstraram que a eficácia antimicrobiana das duas soluções variou conforme o microrganismo avaliado e as condições experimentais. Em alguns estudos, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre a clorexidina e o hipoclorito de sódio. Em outros, o hipoclorito apresentou resultados superiores na redução de microrganismos e na eliminação de células presentes nos biofilmes. Por exemplo, Teves et al. (2019 apud Queiroz; Nóbrega, 2022) observaram maior eficácia do hipoclorito de sódio a 4% em comparação com a clorexidina a 2% contra um biofilme multiespécies. Da mesma forma, D'Aviz et al. (2020 apud Queiroz; Nóbrega, 2022) identificaram melhor desempenho do hipoclorito de sódio a 5,25% contra *Enterococcus faecalis*, e Fiallos et al. (2020 apud Queiroz; Nóbrega, 2022) verificaram maior porcentagem de células mortas no grupo tratado com hipoclorito de sódio.

Por outro lado, alguns estudos apresentaram resultados favoráveis à clorexidina. Ghivari et al. (2017 apud Queiroz; Nóbrega, 2022) observaram que essa substância foi mais eficaz contra *Candida albicans*, embora não tenham identificado diferenças estatisticamente significativas em relação ao hipoclorito de sódio na eliminação de *Enterococcus faecalis* e *Staphylococcus aureus*. Ozkan et al. (2020 apud Queiroz; Nóbrega, 2022) também encontraram maior atividade antimicrobiana da clorexidina a 2% contra *Enterococcus faecalis*, especialmente quando utilizada em associação com outra solução irrigadora. Esses resultados mostram que a eficácia das

substâncias pode variar de acordo com o microrganismo estudado, a concentração utilizada e as condições metodológicas de cada pesquisa.

De acordo com a síntese apresentada pelas autoras, oito dos 15 estudos selecionados não identificaram diferenças estatisticamente significativas entre a ação antimicrobiana da clorexidina e a do hipoclorito de sódio; cinco estudos apresentaram resultados superiores para o hipoclorito, enquanto dois indicaram maior eficácia da clorexidina. Assim, a revisão demonstrou que ambas as soluções apresentam atividade antimicrobiana relevante, embora o hipoclorito de sódio tenha apresentado resultados superiores em maior número de estudos. As autoras também ressaltam que a comparação da atividade antimicrobiana, isoladamente, não é suficiente para determinar qual substância é a melhor opção clínica, pois outras propriedades, como a capacidade de dissolução tecidual, a biocompatibilidade e os resultados clínicos, também precisam ser consideradas.

Portanto, Queiroz e Nóbrega (2022) concluem que o hipoclorito de sódio, em concentrações iguais ou superiores a 2,5%, e a clorexidina a 2% apresentam boa ação antimicrobiana, justificando sua utilização na endodontia. Entretanto, as diferenças nas propriedades dessas soluções devem ser consideradas na escolha do protocolo de irrigação: enquanto ambas demonstram capacidade de combater microrganismos, o hipoclorito de sódio apresenta a vantagem adicional de dissolver tecidos orgânicos, característica importante para a limpeza do sistema de canais radiculares. A clorexidina, por sua vez, destaca-se pela substantividade e por apresentar resultados antimicrobianos semelhantes ou superiores em determinados estudos. As autoras ressaltam, ainda, a necessidade de novas pesquisas clínicas para avaliar a influência dessas substâncias no sucesso do tratamento endodôntico.

3.2 Influência da temperatura na ação do hipoclorito de sódio

O estudo de Şenel, Uzun e Alqawasmi (2025), intitulado "An *in vitro* evaluation of biofilm removal from simulated root canals using sodium hypochlorite irrigation solution at various temperature settings", teve como objetivo avaliar a eficácia do hipoclorito de sódio a 2,5% aquecido a diferentes temperaturas na remoção de biofilmes maduros de *Enterococcus faecalis* presentes na região do istmo de réplicas de dentes padronizadas, produzidas por impressão 3D.

Os autores observaram diminuição contínua da área de biofilme remanescente à medida que a temperatura da solução aumentava. Não houve diferença estatisticamente significativa

entre o grupo controle e o grupo de 21 °C, nem entre 21 °C e 45 °C ($p > 0,05$). Já os grupos de 60 °C e 150 °C apresentaram áreas de biofilme significativamente menores do que o grupo controle e os grupos de menor temperatura ($p < 0,05$), e o aquecimento intracanal a 150 °C obteve a maior eficácia global na limpeza do istmo. Dentro de um mesmo grupo experimental, não foram observadas diferenças significativas na remoção de biofilme entre as regiões vestibular, média e lingual do istmo.

Segundo os autores, o aumento de temperatura reduz a tensão superficial do NaOCl e acelera sua decomposição em ácido hipocloroso e espécies reativas, aumentando sua capacidade de dissolução tecidual e de penetração em anatomias complexas. As soluções pré-aquecidas fora do canal (45 °C) perdem calor rapidamente e atingem o equilíbrio com a temperatura corporal ao entrar no dente, enquanto a ativação térmica intracanal mantém temperaturas elevadas no interior do sistema de canais radiculares, permitindo que a solução atue com maior intensidade dentro do istmo.

O uso de modelos impressos em 3D garante padronização anatômica, superando a variabilidade biológica dos dentes humanos extraídos. Entretanto, o estudo utilizou biofilme de uma única espécie (*E. faecalis*) em resina sintética (PMMA), que não reproduz a microestrutura e os túbulos dentinários da dentina natural. Assim, os resultados indicam que a ativação térmica intracanal do hipoclorito de sódio melhora a remoção do biofilme em áreas de difícil acesso, como os istmos, mas sua incorporação à prática clínica depende de confirmação em modelos mais próximos da realidade.

3.3 Irrigação ativada por laser

O artigo de Meire e De Moor (2024), intitulado “Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: a narrative review”, apresenta uma revisão narrativa da literatura sobre os princípios de funcionamento e a eficácia antimicrobiana da irrigação ativada por laser no tratamento endodôntico.

Os estudos laboratoriais apresentados na revisão indicam resultados promissores para a irrigação ativada por laser, especialmente quando associada ao hipoclorito de sódio. Cheng et al. (2017 apud Meire; De Moor, 2024) observaram que a ativação por laser Er:YAG, por meio da técnica PIPS, melhorou a desinfecção de canais radiculares contaminados por *Enterococcus faecalis* em diferentes diâmetros de preparo apical, e que a associação entre PIPS e hipoclorito de sódio em canais preparados até o diâmetro #15 apresentou eficácia semelhante à irrigação

convencional com hipoclorito de sódio em canais preparados até o diâmetro #40. Esse resultado sugere que a ativação por laser pode favorecer a descontaminação mesmo em canais com preparos apicais mais conservadores.

Outro estudo citado na revisão, realizado por Betancourt et al. (2019 apud Meire; De Moor, 2024), demonstrou que a ativação por laser Er,Cr:YSGG associada ao hipoclorito de sódio a 0,5% promoveu maior redução bacteriana do que a irrigação convencional com a mesma concentração, apresentando eficácia semelhante à irrigação convencional com hipoclorito de sódio a 2,5%. Esses resultados sugerem que a ativação pode melhorar o desempenho da solução irrigadora, possibilitando maior redução de microrganismos mesmo com concentrações menores de hipoclorito de sódio em condições laboratoriais.

Portanto, a revisão de Meire e De Moor (2024) evidencia que as técnicas de ativação podem contribuir para melhorar a distribuição das soluções irrigadoras e potencializar sua ação antimicrobiana, especialmente quando associadas ao hipoclorito de sódio, embora ainda existam limitações quanto à confirmação desses benefícios em condições clínicas.

3.4 Irrigantes isolados e combinados em biofilmes mistos

O estudo de Tekinarslan et al. (2025), intitulado "The effect of various irrigants on mixed biofilms in dentinal tubules: a confocal laser scanning microscopy study", avaliou a eficácia de diferentes soluções irrigadoras na descontaminação de canais radiculares contaminados por biofilmes bacterianos mistos.

A pesquisa comparou três soluções irrigadoras — hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5%, clorexidina (CHX) a 2% e polihexametileno biguanida (PHMB) a 0,2% —, além de avaliar a utilização combinada do hipoclorito de sódio com a clorexidina e com a PHMB. O hipoclorito de sódio é descrito como uma solução amplamente utilizada na endodontia, principalmente por sua capacidade de dissolver tecidos orgânicos. A clorexidina apresenta importante atividade antibacteriana, porém não possui capacidade significativa de dissolução tecidual. Já a PHMB apresenta ação antimicrobiana contra diferentes microrganismos, sendo descrita pelos autores como uma substância com potencial de utilização na descontaminação endodôntica.

O estudo foi realizado *in vitro*, utilizando 60 pré-molares inferiores unirradiculares, que foram preparados, esterilizados e contaminados com um biofilme composto por *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus mutans* e *Staphylococcus aureus*. Após sete dias de formação do biofilme, os dentes foram divididos em seis grupos, de acordo com a solução irrigadora utilizada. A eficácia

da desinfecção foi avaliada por microscopia confocal de varredura a laser, que permitiu observar a penetração de bactérias mortas nos túbulos dentinários, e pela contagem de bactérias viáveis antes e depois da irrigação.

Os resultados demonstraram diferenças na capacidade de descontaminação entre as soluções estudadas. Na análise por microscopia confocal, o hipoclorito de sódio apresentou maior eficácia numérica quando utilizado isoladamente, seguido pela clorexidina e pela PHMB; entretanto, as diferenças entre essas três soluções utilizadas individualmente não foram estatisticamente significativas. Em contrapartida, os grupos que receberam a combinação de soluções apresentaram maior eficácia de desinfecção do que o grupo tratado somente com PHMB. Na contagem de bactérias viáveis, a combinação de hipoclorito de sódio com clorexidina apresentou a maior redução bacteriana, seguida pela combinação de hipoclorito de sódio com PHMB.

Um aspecto importante discutido no artigo é a interação química entre o hipoclorito de sódio e a clorexidina. Segundo os autores, o contato direto entre essas substâncias pode provocar a formação de um precipitado de coloração alaranjada ou marrom, com potencial para obstruir os túbulos dentinários e interferir na penetração dos materiais obturadores. Por esse motivo, os pesquisadores utilizaram água destilada entre a aplicação das soluções. Portanto, embora os resultados indiquem vantagens na utilização combinada dos irrigantes, essa associação exige cuidados técnicos e não deve ser realizada por meio do contato direto entre as duas substâncias.

Conclui-se que o estudo identificou maior eficácia de descontaminação com a utilização combinada das soluções irrigadoras, especialmente na redução das bactérias viáveis. O hipoclorito de sódio apresentou o melhor resultado numérico entre as soluções isoladas, a clorexidina demonstrou atividade antimicrobiana expressiva, e a PHMB apresentou resultados que indicam a necessidade de novas investigações. Por se tratar de pesquisa *in vitro*, a extrapolação direta dos resultados para a prática clínica é limitada.

3.5 Peptídeo DJK-5 associado ao EDTA

O estudo de Amhmed et al. (2024), intitulado "Antimicrobial efficacy of DJK-5 peptide in combination with EDTA against biofilms in dentinal tubules: primary irrigation, recovery and re-irrigation", investigou a eficácia antimicrobiana de diferentes protocolos de irrigação endodôntica, com ênfase na utilização do peptídeo antimicrobiano DJK-5 associado ao ácido etilenodiaminotetracético (EDTA).

A pesquisa foi realizada *in vitro* e utilizou 416 amostras de biofilmes mono e multiespécies, preparados em blocos de dentina humana. Os biofilmes foram cultivados durante três semanas e submetidos a diferentes protocolos de irrigação primária: hipoclorito de sódio a 6% associado ao EDTA a 17%; hipoclorito de sódio a 6% associado ao EDTA a 8,5%; hipoclorito de sódio a 6% seguido de EDTA a 8,5% associado a 10 μg/mL do peptídeo DJK-5; e água estéril, utilizada como controle. Metade das amostras foi submetida à formação de *smear layer*, permitindo avaliar sua influência na eficácia dos tratamentos. Após a irrigação, parte das amostras foi analisada quanto ao efeito antimicrobiano imediato, enquanto as demais foram acompanhadas por até 16 semanas para investigar a recuperação dos biofilmes; posteriormente, foram realizados novos procedimentos de irrigação para avaliar a suscetibilidade dos biofilmes recuperados. A eficácia dos protocolos foi analisada por microscopia confocal de varredura a laser.

Os resultados demonstraram que os protocolos contendo DJK-5 apresentaram as maiores taxas de eliminação bacteriana durante a irrigação primária e proporcionaram maior tempo até a recuperação dos biofilmes, em comparação aos protocolos sem o peptídeo. A recuperação dos biofilmes foi observada ao longo do acompanhamento, evidenciando que os microrganismos sobreviventes podem voltar a se desenvolver mesmo após a exposição aos agentes irrigadores. A *smear layer* reduziu a eficácia da desinfecção durante a irrigação primária, indicando que sua presença pode dificultar a ação dos agentes antimicrobianos no interior da dentina.

Na etapa de reirrigação, os biofilmes recuperados continuaram suscetíveis aos diferentes protocolos avaliados, mas a associação de hipoclorito de sódio, EDTA e DJK-5 apresentou eficácia antimicrobiana significativamente superior à dos protocolos sem o peptídeo, independentemente do protocolo utilizado na irrigação primária. Os achados reforçam que a descontaminação do sistema de canais radiculares é um processo complexo, pois os microrganismos presentes nos túbulos dentinários podem sobreviver à irrigação e formar novamente biofilmes.

Conclui-se que o peptídeo DJK-5 associado ao EDTA apresentou resultados promissores na eliminação de biofilmes presentes nos túbulos dentinários. Entretanto, por se tratar de uma pesquisa laboratorial *in vitro* com um agente ainda em investigação, os resultados não devem ser interpretados como comprovação de superioridade clínica, sendo necessários estudos adicionais para avaliar a segurança e a aplicabilidade clínica dessa associação.

3.6 Estado atual dos irrigantes e dos métodos de irrigação

O artigo "Present status and future directions – irrigants and irrigation methods", de Boutsioukis e Arias-Moliz (2022), apresenta uma revisão da literatura sobre as principais soluções irrigadoras utilizadas na endodontia e os métodos empregados para sua distribuição e ativação no sistema de canais radiculares.

Entre as soluções avaliadas, o hipoclorito de sódio (NaOCl) é apontado pelos autores como a principal escolha para a irrigação endodôntica, devido à sua ampla ação antimicrobiana e à capacidade de dissolver tecidos pulpares e componentes orgânicos do biofilme. Entretanto, sua eficácia depende de fatores como concentração, tempo de contato, volume utilizado e renovação da solução durante o procedimento. Embora concentrações mais elevadas possam apresentar vantagens em determinadas condições laboratoriais, os autores ressaltam que as evidências clínicas disponíveis não estabelecem de forma definitiva uma concentração ideal. Também alertam que o hipoclorito pode causar danos aos tecidos periapicais quando extruído acidentalmente pelo forame apical, o que reforça a importância de uma irrigação cuidadosa.

Apesar de sua eficácia, o hipoclorito de sódio não remove adequadamente os componentes inorgânicos da *smear layer*. Por esse motivo, os autores destacam a importância de associá-lo a agentes quelantes, especialmente o EDTA, que atua na remoção da porção inorgânica da *smear layer* e de resíduos de tecido duro. Contudo, a atividade antimicrobiana do EDTA é limitada, e sua principal função é complementar a ação do hipoclorito. O artigo também alerta que o contato direto entre hipoclorito de sódio e EDTA provoca uma reação química que reduz rapidamente o cloro disponível, podendo comprometer a atividade do hipoclorito (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022).

Outra solução discutida é a clorexidina (CHX), utilizada principalmente por sua atividade antimicrobiana e pela substantividade. Entretanto, a clorexidina não apresenta capacidade significativa de dissolução de tecidos orgânicos, e estudos mais recentes que utilizaram modelos de biofilmes multiespécies demonstraram menor atividade antimicrobiana em relação ao hipoclorito de sódio em determinadas condições, além de incapacidade de desorganizar adequadamente a matriz extracelular do biofilme. Além disso, o contato entre a clorexidina e resíduos de hipoclorito pode formar um precipitado de coloração alaranjada ou marrom, associado a preocupações relacionadas à toxicidade e à alteração da cor dentária.

Quanto aos métodos, a irrigação convencional com seringa e agulha permanece como o mais utilizado, e sua eficácia depende da profundidade de inserção da agulha, do diâmetro do

preparo apical e da velocidade do fluxo da solução. A ativação ultrassônica se destaca por promover a movimentação do irrigante e favorecer a remoção de resíduos em regiões de difícil acesso, como istmos e extensões não instrumentadas. No entanto, os autores ressaltam que ainda não existem evidências clínicas consistentes de que a ativação ultrassônica ou outros métodos auxiliares melhorem os resultados de longo prazo do tratamento endodôntico em comparação com a irrigação convencional (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022).

3.7 Modelos experimentais no estudo dos irrigantes

No artigo "A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems", Boutsioukis, Arias-Moliz e Chávez de Paz (2022) destacam que a irrigação endodôntica é responsável pela maior parte da limpeza e desinfecção em áreas inacessíveis à instrumentação. O hipoclorito de sódio é apresentado como o padrão clínico atual, empregado em diversas concentrações, e o digluconato de clorexidina como agente antimicrobiano complementar ou alternativo. Para a remoção da fração inorgânica da *smear layer*, utilizam-se agentes quelantes, com ênfase no EDTA e no ácido etidrônico (HEDP), além dos ácidos cítrico e maleico; surfactantes e detergentes, como a cetrimida e o QMix, são combinados a quelantes ou antimicrobianos para reduzir a tensão superficial. Outros agentes, como dióxido de cloro estabilizado, compostos de prata, triclosan, óleos essenciais e peptídeos antimicrobianos, também têm sido investigados.

Os autores chamam a atenção para o fato de que estudos baseados em culturas planctônicas ou em biofilmes de espécie única (*Enterococcus faecalis*) induziram conclusões equivocadas, uma vez que essa espécie apresenta alta suscetibilidade à clorexidina, sugerindo erroneamente que a CHX poderia substituir o NaOCl. Na realidade clínica, as infecções endodônticas são causadas por biofilmes multiespécies, cujos microrganismos estão organizados em uma matriz de substância polimérica extracelular que funciona como barreira à difusão de antimicrobianos. A presença de células persistentes e as interações entre espécies elevam a resistência a agentes químicos, e a maturação do biofilme por três semanas ou mais aumenta significativamente essa resistência.

Em modelos experimentais realistas, com biofilmes multiespécies maduros formados sobre dentina humana, o NaOCl demonstra eficácia desinfetante e remoção da massa do biofilme superiores às da clorexidina e dos demais agentes, pois combina o efeito bactericida direto com a dissolução da matriz orgânica do biofilme e dos resíduos pulpares. A clorexidina,

em contrapartida, pode inativar células bacterianas, mas não dissolve a matriz, que permanece aderida à parede dentinária na ausência de agitação mecânica. Os autores destacam, ainda, que a dentina e os resíduos teciduais consomem os agentes químicos, reduzindo a eficácia de todas as soluções em condições ex vivo e *in vivo* quando comparadas aos ensaios em tubos de ensaio — o que deve ser considerado na interpretação dos estudos laboratoriais desta revisão.

3.8 Protocolos de desinfecção e liberação de fatores de crescimento

No estudo experimental de Gugliani et al. (2025), intitulado "Effect of various disinfection protocols on endodontic biofilm and growth factors release from radicular dentin: an *in vitro* study", investigou-se o impacto de diferentes protocolos de desinfecção na eliminação do biofilme bacteriano e na liberação de fatores de crescimento (TGF-β1 e VEGF) a partir da dentina radicular. A pesquisa contextualiza que, em procedimentos endodônticos regenerativos aplicados a dentes imaturos com ápice aberto, o debridamento mecânico agressivo é contraindicado para preservar a estrutura radicular, tornando a irrigação química e a medicação intracanal os pilares da eliminação da infecção e do condicionamento dentinário.

Todos os espécimes foram inicialmente irrigados com hipoclorito de sódio a 1,5% sob irrigação ultrassônica passiva e, em seguida, divididos em três grupos (apenas irrigação, hidróxido de cálcio e pasta triantibiótica, composta por metronidazol, ciprofloxacino e doxiciclina), cada um com quatro subgrupos de irrigação final: solução salina, EDTA a 17%, ácido fítico a 1% e nanopartículas de quitosana a 0,2%. A redução do biofilme de *E. faecalis*, maturado por 21 dias, foi quantificada em unidades formadoras de colônias, e a liberação dos fatores de crescimento, por ensaio imunoenzimático (ELISA).

A maior redução bacteriana ocorreu no grupo tratado com pasta triantibiótica, seguido pelo hidróxido de cálcio e pelo grupo submetido apenas à irrigação ($p < 0,05$). Entre as soluções irrigadoras finais, as nanopartículas de quitosana a 0,2% apresentaram a maior eficácia bactericida, seguidas pelo ácido fítico a 1%, pelo EDTA a 17% e pela solução salina ($p < 0,05$), em todos os grupos. Quanto à liberação de fatores de crescimento, os maiores valores ocorreram no grupo sem medicação intracanal, e as nanopartículas de quitosana promoveram a maior liberação de TGF-β1 e VEGF entre os irrigantes finais, superando o EDTA e o ácido fítico; em todas as condições, a liberação de TGF-β1 foi significativamente superior à de VEGF.

Assim, o estudo indica que a escolha do irrigante final interfere tanto na desinfecção quanto no condicionamento dentinário, aspecto relevante para a endodontia regenerativa.

Contudo, as nanopartículas de quitosana ainda são um agente em investigação, e os resultados foram obtidos *in vitro* com biofilme de uma única espécie, o que exige cautela na sua extrapolação clínica.

3.9 Hipoclorito de sódio versus clorexidina em molares decíduos

No estudo ex vivo conduzido por Shmueli et al. (2024) em molares decíduos, avaliou-se a eficácia do hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5% e do digluconato de clorexidina (CHG) a 0,2% e a 2% na eliminação de *Enterococcus faecalis* do sistema de canais radiculares, utilizando a solução salina como controle.

Em relação à eliminação de *Enterococcus faecalis* — microrganismo frequentemente associado ao insucesso endodôntico, devido à sua capacidade de invadir túbulos dentinários e resistir ao meio alcalino do hidróxido de cálcio —, o NaOCl a 2,5% promoveu a maior redução imediata de bactérias viáveis e foi a única solução capaz de reduzir significativamente o DNA bacteriano total. Contudo, decorridas 24 horas, tanto o NaOCl quanto a clorexidina (0,2% e 2%) demonstraram capacidade bactericida estatisticamente equivalente, ambos significativamente superiores ao controle. Quanto à penetração nos túbulos dentinários, o NaOCl atingiu maior profundidade (cerca de 300 μm), resultando no menor nível de penetração de bactérias viáveis.

Dessa forma, os autores concluíram que o NaOCl a 2,5% e a clorexidina a 2% apresentam eficácia global semelhante na eliminação de *E. faecalis* em dentes decíduos, com vantagem do NaOCl na penetração e na limpeza tubular. Embora o estudo tenha sido realizado em dentes decíduos, sua comparação direta entre as duas soluções contribui para a discussão do presente trabalho.

3.10 Soluções de base natural: revisão sistemática com metanálise em rede

Na revisão sistemática com metanálise em rede conduzida por Ferraz et al. (2024), intitulada "Antimicrobial efficacy of natural-based endodontic solutions: a systematic review with a network meta-analysis", analisou-se a evidência pré-clínica da eficácia antimicrobiana de soluções endodônticas de base natural em comparação às soluções químicas convencionais — hipoclorito de sódio e digluconato de clorexidina — contra *Enterococcus faecalis* em canais radiculares. Entre as soluções naturais identificadas, destacam-se o carvacrol (0,6%), extratos de orégano (1%, 2% e 5%), vinagre de maçã, berberina, curcumina, Triphala, *Aloe vera*,

Azadirachta indica (neem), extrato de semente de uva, própolis e chá verde, avaliados de forma isolada ou em associação às soluções convencionais.

Na avaliação quantitativa (redução de UFC/mL de *E. faecalis* em 1.504 canais radiculares analisados nos estudos ex vivo), a metanálise demonstrou que as soluções naturais isoladas não superaram a eficácia do hipoclorito de sódio. Entre os extratos testados de forma isolada, apenas o carvacrol a 0,6% e o extrato de orégano a 2% e 5% apresentaram redução bacteriana estatisticamente equivalente à do NaOCl. A associação entre vinagre de maçã e NaOCl a 2,5% alcançou a maior probabilidade de ser a melhor intervenção, superando a CHX a 2% e o NaOCl isolado, enquanto o vinagre de maçã e a berberina, utilizados isoladamente, apresentaram os piores desempenhos.

Dessa forma, os autores concluem que, embora as soluções de base natural apresentem potencial antimicrobiano e biocompatibilidade promissores, a evidência pré-clínica atual não sustenta a substituição do hipoclorito de sódio ou da clorexidina por extratos vegetais, cabendo aos compostos naturais o papel de agentes complementares às soluções químicas convencionais.

3.11 Dióxido de cloro aquoso (MA-T)

Shimaoka et al. (2025), no estudo "Application of on-demand aqueous chlorine dioxide solution for non-surgical root canal treatment", partem do reconhecimento de que o hipoclorito de sódio permanece como padrão-ouro entre os irrigantes endodônticos, devido à sua atividade antimicrobiana e à capacidade de dissolução de tecidos orgânicos, mas está associado a limitações relacionadas à citotoxicidade e ao risco de acidentes por extrusão para os tecidos periapicais.

Diante da necessidade de soluções que equilibrem eficácia antimicrobiana e segurança biológica, os autores investigaram uma solução aquosa de dióxido de cloro produzida pelo sistema *Matching Transformation System* (MA-T). O estudo avaliou sua atividade antimicrobiana contra espécies bacterianas relacionadas às infecções endodônticas, incluindo *Enterococcus faecalis*, *Parvimonas micra* e *Fusobacterium nucleatum*, além de biofilmes derivados de placa supragengival humana, e utilizou um modelo experimental de canal radicular bovino infectado com *E. faecalis*.

Os resultados demonstraram que o MA-T apresentou atividade antimicrobiana tanto contra bactérias planctônicas quanto contra microrganismos organizados em biofilmes, com concentração inibitória mínima entre 3,9 e 15,6 ppm e concentração bactericida mínima entre 3,9

e 31,3 ppm, conforme a espécie. A solução inibiu significativamente a formação de biofilmes e, nos biofilmes já estabelecidos, reduziu a viabilidade bacteriana de forma dependente da concentração e do tempo de contato, sem promover redução significativa da massa total do biofilme. Segundo os autores, isso se explica pelo mecanismo do dióxido de cloro, que interfere na cadeia respiratória bacteriana e oxida aminoácidos, ácidos nucleicos e lipídios das membranas, podendo penetrar no biofilme sem desorganizar sua matriz extracelular.

No modelo de canal radicular infectado, o *E. faecalis* penetrou nos túbulos dentinários até aproximadamente 470 μm, e o MA-T a 1.000 ppm durante 15 minutos produziu efeito semelhante ao do hipoclorito de sódio a 2,5%, com redução de aproximadamente 70% da viabilidade bacteriana à microscopia confocal. Em relação à segurança biológica, osteoblastos de rato e fibroblastos do ligamento periodontal humano expostos ao MA-T mantiveram maior viabilidade e preservaram sua morfologia, com redução dos níveis de ATP de aproximadamente 20% e 8%, respectivamente, enquanto o NaOCl promoveu redução superior a 60% em ambas as células.

Portanto, o MA-T apresenta potencial como solução irrigadora, associando atividade antimicrobiana e menor citotoxicidade. Entretanto, os próprios autores ressaltam que não é possível estabelecer sua superioridade clínica, pois as comparações diretas com CHX, EDTA e ácido hipocloroso não foram realizadas e os resultados foram obtidos principalmente em modelos *in vitro* com uma única espécie bacteriana.

3.12 Clorexidina em gel, clorexidina em solução e hipoclorito de sódio

No estudo *in vitro* de Ferraz et al. (2007), intitulado “Comparative study of the antimicrobial efficacy of chlorhexidine gel, chlorhexidine solution and sodium hypochlorite as endodontic irrigants”, investigou-se a eficácia antimicrobiana do gluconato de clorexidina em gel de natrosol em comparação ao hipoclorito de sódio e ao gluconato de clorexidina em solução aquosa. Foram analisados o hipoclorito de sódio nas concentrações de 0,5%, 1%, 2,5%, 4% e 5,25% e a clorexidina a 0,2%, 1% e 2%, em solução e em gel, além da solução salina como controle. O artigo destaca que o natrosol é um agente espessante inerte, hidrossolúvel e não iônico, que confere ao gel ação lubrificante e auxilia na remoção da *smear layer* sem deixar resíduos insolúveis.

Na avaliação pelo teste de difusão em ágar contra nove espécies bacterianas, a clorexidina a 2% em gel produziu as maiores zonas de inibição, com superioridade estatisticamente

significativa em relação a todas as concentrações de NaOCl testadas, incluindo a de 5,25%. Não houve diferença significativa entre concentrações equivalentes de clorexidina em solução e em gel, e todas as espécies testadas — incluindo *Enterococcus faecalis*, *Porphyromonas gingivalis* e *Prevotella intermedia* — mostraram-se suscetíveis a todas as concentrações de clorexidina; mesmo a de 0,2% exibiu ação equivalente ou superior à do NaOCl a 5,25%. Em contrapartida, o NaOCl a 0,5% e 1% demonstrou ação antimicrobiana fraca ou nula contra diversas cepas.

Os autores concluem que a clorexidina em gel reúne eficácia bactericida, substantividade e lubrificação, constituindo um valioso agente químico auxiliar na endodontia. Cabe ressaltar, contudo, que o teste de difusão em ágar avalia microrganismos em condições planctônicas, cenário que, como discutido por Boutsioukis, Arias-Moliz e Chávez de Paz (2022), tende a superestimar a eficácia da clorexidina em relação ao hipoclorito de sódio.

3.13 Revisão comparativa: eficácia, dissolução e biocompatibilidade

Na revisão comparativa de Lozano et al. (2026), intitulada "Comparative review of endodontic irrigants: balancing antimicrobial efficacy, tissue dissolution, and biocompatibility", analisam-se as evidências recentes sobre as principais soluções irrigadoras empregadas no tratamento endodôntico: hipoclorito de sódio (NaOCl), digluconato de clorexidina (CHX), solução salina estéril e EDTA. Os autores destacam que os diferentes irrigantes desempenham funções clínicas complementares, sendo a escolha do protocolo fundamentada no equilíbrio entre a capacidade de desinfecção, a dissolução tecidual e a biocompatibilidade.

Quanto à eficácia antimicrobiana contra *Enterococcus faecalis*, o hipoclorito de sódio apresenta os melhores resultados na redução da carga bacteriana. A clorexidina a 2% demonstra capacidade bactericida significativamente superior à da solução salina e elevada penetração nos túbulos dentinários quando ativada por irrigação ultrassônica passiva. O EDTA apresenta atividade antimicrobiana direta limitada, mas seu emprego sequencial com o NaOCl gera um importante efeito sinérgico, ao desobstruir a dentina e permitir que o NaOCl penetre mais profundamente nas ramificações do sistema de canais radiculares.

No tocante à biocompatibilidade, a ordenação é inversa à da eficácia antimicrobiana: a solução salina apresenta a menor citotoxicidade, a clorexidina e o EDTA exibem perfis intermediários, e o hipoclorito de sódio é o irrigante de maior citotoxicidade, podendo provocar necrose tecidual e complicações periapicais graves em casos de extravasamento. Diante disso,

Lozano et al. (2026) concluem que o sucesso clínico requer a combinação apropriada e sequencial dessas soluções, integrando a capacidade de dissolução e desinfecção do NaOCl e do EDTA com a ação residual e a biocompatibilidade da CHX e da solução salina.

3.14 QMix 2 em 1, hipoclorito de sódio e clorexidina

No estudo experimental conduzido por Elakanti et al. (2015), intitulado "Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of QMix™ 2 in 1, sodium hypochlorite, and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*", investigou-se a eficácia antimicrobiana comparativa de soluções irrigadoras frente a esses dois microrganismos. Foram avaliados o hipoclorito de sódio a 5,25%, o digluconato de clorexidina a 2% e a solução QMix™ 2 em 1 (composta por um antimicrobiano bisbiguanida, um agente quelante, solução salina e um surfactante), com solução salina estéril a 0,9% como controle, em 80 pré-molares unirradiculares inoculados por 3 dias com *E. faecalis* ou *C. albicans* e submetidos a 1 minuto de contato com os irrigantes.

Na contagem de unidades formadoras de colônias após 24 horas, o QMix™ 2 em 1 apresentou a maior eficácia antimicrobiana, com superioridade estatisticamente significativa em relação ao NaOCl a 5,25% e à CHX a 2% ($p < 0,001$), tanto para *E. faecalis* quanto para *C. albicans*. Entre o NaOCl a 5,25% e a CHX a 2%, não houve diferença estatisticamente significativa, demonstrando ação bactericida e antifúngica equivalentes no modelo testado. Segundo os autores, esses resultados corroboram estudos anteriores que apontaram ação antibacteriana do QMix superior à do NaOCl e da CHX contra biofilmes de *E. faecalis*, e a remoção da *smear layer* pelo componente quelante favorece a ação antifúngica. Assim, Elakanti et al. (2015) concluem que o QMix™ 2 em 1 representa uma alternativa eficaz para a irrigação final, combinando ação antimicrobiana e remoção da *smear layer* em um único passo.

3.15 Síntese comparativa

A análise conjunta dos 14 estudos permite responder à questão norteadora deste trabalho. Quanto à identificação das soluções irrigadoras (primeiro objetivo específico), a literatura analisada descreve como principais irrigantes o hipoclorito de sódio, a clorexidina, o EDTA e outros quelantes (ácido cítrico, ácido etidrônico, ácido fítico), as soluções combinadas com surfactantes (QMix) e a solução salina, além de agentes em investigação, como o dióxido de

cloro (MA-T), a PHMB, o peptídeo DJK-5, as nanopartículas de quitosana e as soluções de base natural (Boutsioukis; Arias-Moliz; Chávez de Paz, 2022; Lozano et al., 2026).

Quanto aos mecanismos de ação (segundo objetivo específico), há consenso de que o hipoclorito de sódio é a única solução capaz de dissolver tecido orgânico e desestruturar a matriz do biofilme, por meio da ação oxidante do cloro disponível; a clorexidina atua sobre a membrana citoplasmática bacteriana e apresenta substantividade, mas não dissolve tecidos; e os quelantes, como o EDTA, removem a fração inorgânica da *smear layer*, com ação antimicrobiana direta limitada (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022; Shmueli et al., 2024; Lozano et al., 2026).

Quanto à capacidade de eliminação de microrganismos e biofilmes (terceiro objetivo específico), os resultados dependem fortemente do modelo experimental. Em modelos com microrganismos planctônicos ou biofilmes de espécie única, a clorexidina a 2% frequentemente apresenta eficácia semelhante ou até superior à do hipoclorito de sódio (Ferraz et al., 2007; Queiroz; Nóbrega, 2022; Shmueli et al., 2024). Já em modelos mais realistas, com biofilmes multiespécies maduros sobre dentina, o hipoclorito de sódio mostra-se superior, por associar o efeito bactericida à dissolução da matriz do biofilme (Boutsioukis; Arias-Moliz; Chávez de Paz, 2022; Tekinarslan et al., 2025).

Os estudos também convergem quanto à superioridade dos protocolos combinados e sequenciais sobre o uso de qualquer irrigante isolado, como NaOCl seguido de EDTA, a associação entre NaOCl e CHX com irrigação intermediária e soluções combinadas como o QMix (Elakanti et al., 2015; Tekinarslan et al., 2025; Lozano et al., 2026). Esses protocolos exigem atenção às interações químicas: o contato direto entre NaOCl e CHX forma precipitado, e o contato entre NaOCl e EDTA reduz o cloro disponível (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022). Além disso, fatores que modificam a ação do irrigante, como a temperatura e a ativação ultrassônica ou por laser, podem potencializar a desinfecção, embora com benefícios clínicos ainda não confirmados (Meire; De Moor, 2024; Şenel; Uzun; Alqawasmi, 2025).

Por fim, as soluções alternativas investigadas — dióxido de cloro, PHMB, DJK-5, nanopartículas de quitosana e soluções naturais — apresentam resultados promissores, sobretudo pela menor citotoxicidade, mas ainda não superam o hipoclorito de sódio de forma consistente e se apoiam predominantemente em evidências laboratoriais (Amhmed et al., 2024; Ferraz et al., 2024; Gugliani et al., 2025; Shimaoka et al., 2025). De modo geral, a principal limitação da literatura analisada é o predomínio de estudos *in vitro* e ex vivo, com protocolos

heterogêneos, o que dificulta a comparação direta dos resultados e sua extrapolação para a prática clínica.

Este estudo apresenta limitações próprias da revisão narrativa: ausência de protocolo rígido e reprodutível de busca e seleção, possível viés de seleção, impossibilidade de metanálise e menor nível de evidência em relação às revisões sistemáticas. Além disso, a maior parte dos estudos incluídos é laboratorial, o que limita a extrapolação dos resultados para a prática clínica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão narrativa realizada, conclui-se que o hipoclorito de sódio permanece como a solução irrigadora de referência na descontaminação do canal radicular, por ser a única que associa amplo espectro antimicrobiano à capacidade de dissolver tecido orgânico e desestruturar a matriz do biofilme, embora apresente a maior citotoxicidade entre os irrigantes avaliados e exija cuidado para evitar o extravasamento periapical.

A clorexidina a 2% apresenta eficácia antimicrobiana comparável à do hipoclorito de sódio em grande parte dos estudos laboratoriais, além de substantividade e menor citotoxicidade, mas não dissolve tecidos orgânicos e mostra desempenho inferior em biofilmes multiespécies maduros, devendo ser considerada uma solução complementar ou alternativa em situações específicas. O EDTA e os demais quelantes não atuam como agentes desinfetantes isolados, mas são fundamentais para remover a fração inorgânica da *smear layer* e favorecer a penetração do hipoclorito nos túbulos dentinários.

A literatura analisada indica que nenhuma solução isolada é capaz de eliminar completamente os microrganismos do sistema de canais radiculares e que os protocolos combinados e sequenciais, assim como soluções combinadas do tipo QMix, apresentam os melhores resultados, desde que respeitadas as interações químicas entre os irrigantes. Fatores como a temperatura e a ativação da solução podem potencializar a desinfecção, e agentes alternativos, como o dióxido de cloro, a PHMB, o peptídeo DJK-5 e as soluções naturais, mostram-se promissores, sobretudo pela menor citotoxicidade.

Como a maior parte das evidências provém de estudos *in vitro* e ex vivo, com metodologias heterogêneas, recomenda-se a realização de ensaios clínicos bem delineados e de estudos laboratoriais com biofilmes multiespécies maduros, capazes de confirmar o impacto dos diferentes protocolos de irrigação sobre o sucesso do tratamento endodôntico.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante a elaboração deste trabalho, as autoras utilizaram a ferramenta de inteligência artificial generativa Claude (Anthropic) como recurso auxiliar na elaboração e no refinamento da estratégia de busca, na organização e categorização dos registros durante a triagem, na organização textual e na revisão gramatical. Todas as decisões de inclusão e exclusão foram tomadas pelas autoras e validadas pelo orientador, e todas as referências foram verificadas individualmente quanto à sua existência e fidelidade, considerando que ferramentas de IA podem gerar referências inexistentes.

O orientador, que também é o professor responsável pelas disciplinas de Trabalho de Conclusão de Curso II e de Inteligência Artificial no curso, utilizou a ferramenta Claude (Anthropic) como apoio a um checklist de revisão do trabalho, abrangendo a conferência da correspondência entre citações e referências, a adequação às normas da ABNT e ao modelo institucional, a consistência metodológica e a verificação de dados bibliográficos, bem como à adaptação do texto ao formato de artigo, incluindo a tradução do resumo para o espanhol. As sugestões resultantes foram analisadas pelas autoras, que decidiram sobre sua incorporação ao texto.

As ferramentas de IA não figuram, em nenhum momento, como autoras: a análise crítica dos artigos, a discussão e as conclusões são de responsabilidade das pesquisadoras. Esse uso está de acordo com as orientações do Committee on Publication Ethics (COPE, 2023) e do International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE, 2026), segundo as quais ferramentas de inteligência artificial não podem ser consideradas autoras e seu uso deve ser declarado de forma transparente.

REFERÊNCIAS

AMHMED, M. et al. Antimicrobial efficacy of DJK-5 peptide in combination with EDTA against biofilms in dentinal tubules: primary irrigation, recovery and re-irrigation. **International Endodontic Journal**, v. 57, n. 9, p. 1343-1359, 2024. DOI: https://doi.org/10.1111/iej.14104.

BOUTSIOUKIS, C.; ARIAS-MOLIZ, M. T. Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. **International Endodontic Journal**, v. 55, supl. 3, p. 588-612, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/iej.13739.

BOUTSIOUKIS, C.; ARIAS-MOLIZ, M. T.; CHÁVEZ DE PAZ, L. E. A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems. **International Endodontic Journal**, v. 55, supl. 2, p. 295-329, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/iej.13710.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 44-46, 24 maio 2016.

COMMITTEE ON PUBLICATION ETHICS (COPE). **Authorship and AI tools**: COPE position statement. [S. l.]: COPE, 2023.

ELAKANTI, S. et al. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of QMix™ 2 in 1, sodium hypochlorite, and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 18, n. 2, p. 128-131, 2015. DOI: https://doi.org/10.4103/0972-0707.153067.

FERRAZ, C. C. R. et al. Comparative study of the antimicrobial efficacy of chlorhexidine gel, chlorhexidine solution and sodium hypochlorite as endodontic irrigants. **Brazilian Dental Journal**, v. 18, n. 4, p. 294-298, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-64402007000400004.

FERRAZ, D. C. et al. Antimicrobial efficacy of natural-based endodontic solutions: a systematic review with a network meta-analysis. **Brazilian Oral Research**, v. 38, e093, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0093.

GUGLIANI, A. et al. Effect of various disinfection protocols on endodontic biofilm and growth factors release from radicular dentin: an *in vitro* study. **European Endodontic Journal**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2025.

INTERNATIONAL COMMITTEE OF MEDICAL JOURNAL EDITORS (ICMJE). **Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals**. [S. l.]: ICMJE, jan. 2026.

LOZANO, F. E. S. M. et al. Comparative review of endodontic irrigants: balancing antimicrobial efficacy, tissue dissolution, and biocompatibility. **International Journal of Applied Dental Sciences**, v. 12, n. 1, p. 97-101, 2026. DOI: https://doi.org/10.22271/oral.2026.v12.i1b.2330.

QUEIROZ, A. V. de; NÓBREGA, L. M. M. Comparação da propriedade antimicrobiana da clorexidina e do hipoclorito de sódio como irrigantes endodônticos: uma revisão integrativa. **Revista Ciência Plural**, v. 8, n. 3, p. 1-17, 2022. DOI: https://doi.org/10.21680/2446-7286.2022v8n3id28016.

ŞENEL, K.; UZUN, I.; ALQAWASMI, R. An *in vitro* evaluation of biofilm removal from simulated root canals using sodium hypochlorite irrigation solution at various temperature settings. **PLOS One**, v. 20, n. 6, e0325431, 2025. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325431.

SHIMAOKA, T. et al. Application of on-demand aqueous chlorine dioxide solution for non-surgical root canal treatment. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-20131-5.

SHMUELI, A. et al. Elimination of *E. faecalis* with NaOCl versus chlorhexidine gluconate from primary molar root canal systems: an ex vivo model study. **Clinical Oral Investigations**, v. 28, n. 5, 265, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s00784-024-05621-6.

TEKINARSLAN, D. et al. The effect of various irrigants on mixed biofilms in dentinal tubules: a confocal laser scanning microscopy study. **Microscopy Research and Technique**, v. 88, n. 9, p. 2586-2593, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/jemt.24877.