



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS
ESPECIALIZAÇÃO EM ENDODONTIA

LETÍCIA DOS SANTOS VALOIS

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE PREPARO APICAL NA LIMPEZA E
DESINFECÇÃO DE CANAIS RADICULARES: REVISÃO DE LITERATURA**

LAVRAS-MG

2026

LETÍCIA DOS SANTOS VALOIS

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE PREPARO APICAL NA LIMPEZA E
DESINFECÇÃO DE CANAIS RADICULARES: REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário de
Lavras, como parte das exigências do
curso Especialização em Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Jáder Camilo Pinto

PROFESSOR

Dr. Jáder Camilo Pinto

LAVRAS - MG

2026

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Processamento
Técnico da Biblioteca Central do Unilavras

617.6342 Valois, Letícia dos Santos.
C198i Influência do tamanho de preparo apical na limpeza e
desinfecção de canais radiculares: revisão de literatura;
orientação de Jáder Camilo Pinto. – Lavras: Unilavras,
2026.
33 f.

Monografia apresentada ao Unilavras como parte das
exigências do Curso de Especialização em Endodontia.

1. Preparo apical. 2. Limpeza de canais. 3.
Desinfecção. 4. Irrigação. 5. Endodontia. I. Pinto, Jáder
Camilo (Orient.). II. Título.

CDD

LETÍCIA DOS SANTOS VALOIS

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE PREPARO APICAL NA LIMPEZA E
DESINFECÇÃO DE CANAIS RADICULARES: REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário de
Lavras, como parte das exigências do
curso Especialização em Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Jáder Camilo Pinto

Aprovado em _____

MEMBROS DA BANCA

Prof. Dr. Jáder Camilo Pinto
Centro Universitário de Lavras

Prof. Ms. Luís Otavio Oliveira
Centro Universitário de Lavras

Prof. Dr. Marcone Reis Luiz (presidente da banca)
Centro Universitário de Lavras

LAVRAS - MG

2026

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu amparo e fortaleza, agradeço por iluminar meus caminhos, sustentar-me nas horas de incerteza e me conceder coragem para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Sem Sua presença constante, nada disso seria possível.

À Nossa Senhora Aparecida, Mãe amorosa, e a São Miguel Arcanjo, protetor fiel, agradeço pelas bênçãos, pela proteção e pela paz que sempre encontrei na fé. Foram eles que acalmaram meu coração quando o cansaço e a dúvida insistiam em me visitar.

À minha amada filha Marina, razão do meu maior amor e da minha maior motivação. Cada sorriso seu foi um lembrete de que vale a pena lutar por um futuro melhor. Obrigada por compreender minhas ausências, por me encher de ternura e por ser a luz que guia todos os meus passos.

Ao meu amor Renato meu porto seguro, meu companheiro de vida e de sonhos. Obrigada pelo amor, pela paciência, pelo incentivo diário e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava. Sua presença tornou o caminho mais leve e cheio de sentido.

Aos meus pais, Nara e Aldair, por todo amor incondicional, pelos valores que me ensinaram e por me mostrarem, com o exemplo, que o esforço e a honestidade são as chaves de qualquer conquista. Sem o apoio de vocês, eu jamais teria chegado até aqui.

À minha irmã Larissa, por sua amizade sincera, amor, cumplicidade e por estar sempre presente, torcendo e acreditando em mim.

Ao meu orientador, professor Jader, por sua orientação atenciosa, paciência e por compartilhar comigo seu conhecimento e experiência. Sua confiança e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Marcone, que com sua paixão e entusiasmo despertou em mim o amor pela Endodontia, transformando o aprendizado em inspiração.

Aos meus colegas de curso e de turma, por cada momento compartilhado, pelas risadas, pelas horas de estudo, pelas trocas de conhecimento e, principalmente, pela amizade construída ao longo dessa jornada.

Aos meus indicadores, que confiaram no meu trabalho e me deram a oportunidade de crescer, acreditando na minha capacidade e dedicação. A

confiança de vocês foi combustível essencial para que eu continuasse firme, acreditando no valor do que faço.

À UNILAVRAS, instituição que se tornou minha segunda casa, onde cresci não apenas como profissional, mas também como ser humano. Aqui vivi experiências únicas, conheci pessoas inspiradoras e aprendi que a educação é uma das formas mais belas de transformar o mundo.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte deste percurso — com palavras de incentivo, gestos de carinho, ou simples presenças silenciosas. Cada um de vocês deixou em mim uma marca de amor e gratidão que levarei para sempre.

A todos, o meu mais sincero e profundo muito obrigada.

RESUMO

O sucesso do tratamento endodôntico depende da adequada limpeza e desinfecção dos canais radiculares, especialmente na região apical. A ampliação do preparo apical tem sido discutida como uma estratégia para melhorar a remoção de detritos, dentina infectada e microrganismos, bem como otimizar a penetração de soluções irrigadoras. Esta revisão narrativa analisou estudos que investigaram a influência do tamanho do preparo apical sobre a eficácia da instrumentação, irrigação e reparação periapical. Os resultados indicam que o aumento do diâmetro apical pode favorecer a desinfecção e reduzir a carga bacteriana, principalmente em canais curvos ou com anatomia complexa, mas apresenta risco potencial de transporte apical, fraturas radiculares e desgaste excessivo da dentina. Diferentes sistemas e técnicas de instrumentação demonstram eficácia variável, sendo o uso combinado de limas rotatórias, reciprocantes e protocolos irrigatórios avançados o mais promissor. Estudos clínicos e experimentais sugerem que, quando realizado com cuidado, o aumento do preparo apical não compromete significativamente a cicatrização periapical, reforçando a necessidade de planejamento individualizado para cada dente. Conclui-se que o dimensionamento do preparo apical é um fator crítico para o sucesso endodôntico, exigindo avaliação equilibrada entre eficácia de limpeza e preservação da estrutura dentária.

Palavras-chave: preparo apical, limpeza de canais, desinfecção, irrigação, endodontia, cicatrização periapical.

ABSTRACT

The success of endodontic treatment relies on effective cleaning and disinfection of the root canal system, particularly in the apical region. Apical enlargement has been proposed as a strategy to enhance debris removal, eliminate infected dentin, reduce bacterial load, and improve irrigant penetration. This narrative review analyzed studies investigating the influence of apical preparation size on instrumentation efficiency, irrigation efficacy, and periapical healing. Evidence suggests that increasing apical diameter can improve disinfection, especially in curved or complex canals, but may carry risks such as apical transportation, root fractures, and excessive dentin removal. Different instrumentation systems and techniques show variable effectiveness, with combined use of rotary, reciprocating instruments and advanced irrigation protocols being most effective. Clinical and experimental studies indicate that careful apical enlargement does not significantly compromise periapical healing, emphasizing the need for individualized treatment planning. In conclusion, apical preparation size is a critical factor for endodontic success, requiring a balance between cleaning efficacy and preservation of dental structure.

Keywords: apical preparation, root canal cleaning, disinfection, irrigation, endodontics, periapical healing

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3 METODOLOGIA	12
4 REVISÃO DA LITERATURA	13
4.1 Sucesso do tratamento endodôntico.....	13
4.2 Anatomia do sistema de canais radiculares	14
4.3 Microbiologia das infecções endodônticas.....	15
4.4 Preparo apical no tratamento endodôntico	16
4.5 Instrumentos endodônticos.....	18
4.6 Irrigação endodôntica	19
4.6.1 Dinâmica do irrigante no canal radicular	20
4.6.2 <i>Flow rate</i> e ativação do irrigante	20
4.6.3 Soluções irrigadoras.....	21
4.7 Relação entre preparo apical, irrigação e cicatrização periapical.....	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

O sucesso do tratamento endodôntico está diretamente associado a três fatores fundamentais: a instrumentação mecânica, que modela e formata o canal radicular; a irrigação química, responsável pela desinfecção de áreas de difícil acesso; e o selamento radicular adequado, garantindo que o material obturador impeça reinfecções e favoreça a cicatrização periapical. Entre essas etapas, dois tópicos têm se destacado na literatura recente pela sua relevância clínica e biológica: o batente apical e a dinâmica da irrigação, especialmente a taxa de fluxo do irrigante, ou *flow rate*.

A porção apical do canal radicular apresenta características anatômicas complexas, incluindo canais laterais, ramificações, istmos e deltas apicais, que dificultam a remoção completa de debris e favorecem o alojamento de biofilme bacteriano persistente, mesmo após preparo químico-mecânico adequado (Peters, 2004; Paqué *et al.*, 2011). Esse biofilme é composto por comunidades bacterianas protegidas por matriz extracelular, conferindo resistência a agentes antimicrobianos quando utilizados em baixas concentrações (Siqueira; Rôças, 2008).

Nesse contexto, o batente apical emerge como elemento estratégico para o controle do comprimento de trabalho, garantindo a adaptação adequada do cone obturador e prevenindo extravasamento de materiais para os tecidos periapicais (Wu; Wesselink; Walton, 2000). Estudos recentes demonstram que a manutenção de um batente apical bem definido influencia diretamente a qualidade do selamento, a redução da carga bacteriana e a cicatrização periapical (Shubham *et al.*, 2021; Kuzhanchinathan *et al.*, 2024).

Paralelamente, o dimensionamento do preparo apical tem sido amplamente investigado, uma vez que influencia diretamente a capacidade de limpeza do canal e a eficácia da irrigação. Preparos apicais adequados podem favorecer maior penetração e renovação das soluções irrigadoras, contribuindo para a remoção de debris, tecido necrótico e microrganismos, especialmente na região apical. Entretanto, a literatura enfatiza que esse preparo deve ser realizado de forma criteriosa, considerando as características anatômicas do canal e a necessidade de preservar a integridade estrutural dentária (Ferreira; Campos, 2023; Oliveira *et al.*, 2024).

Dessa forma, compreender a interação entre preparo e controle apical e dinâmica de irrigação é essencial para otimizar a limpeza do canal, reduzir complicações iatrogênicas e favorecer a cicatrização das lesões periapicais, constituindo um tema de grande relevância para a prática endodôntica contemporânea. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, a influência do tamanho do preparo apical na limpeza e desinfecção dos canais radiculares, considerando sua relação com a eficácia da irrigação e com o prognóstico do tratamento endodôntico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão narrativa da literatura sobre os efeitos do aumento do tamanho do preparo apical em canais radiculares, com ênfase nos aspectos relacionados à limpeza, desinfecção, transporte apical, segurança dos instrumentos e impacto na reparação periapical.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência do aumento do diâmetro apical na remoção de debris, dentina infectada e materiais obturadores residuais.
- Avaliar o impacto do aumento apical na eficácia da irrigação e na redução da carga bacteriana em canais acometidos por periodontite apical.
- Investigar se a ampliação da preparação apical compromete a trajetória original do canal ou aumenta o risco de fraturas radiculares, especialmente em canais curvos.
- Comparar diferentes sistemas e protocolos de instrumentação quanto à segurança e eficácia durante a ampliação apical.
- Avaliar os efeitos da ampliação apical na reparação tecidual e cicatrização de lesões periapicais, com base em modelos animais e estudos clínicos.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura que tem como objetivo reunir e analisar estudos científicos que discutem a influência do tamanho do preparo apical na limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares, bem como seus possíveis efeitos na irrigação endodôntica, na redução da carga bacteriana e no processo de cicatrização periapical.

A busca pelos estudos foi realizada em bases de dados científicas amplamente utilizadas na área da saúde, como *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. Após a seleção dos artigos, foi realizada uma leitura do material, buscando identificar os principais achados relacionados ao tema. A partir dessa análise, os dados foram discutidos e integrados aos tópicos da revisão de literatura, permitindo uma visão analítica sobre o papel do preparo apical na desinfecção do sistema de canais radiculares e sua relação com o prognóstico do tratamento endodôntico.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Sucesso do tratamento endodôntico

O tratamento endodôntico tem como principal objetivo eliminar ou reduzir significativamente a infecção presente no sistema de canais radiculares e promover condições favoráveis para a cicatrização dos tecidos periapicais. O sucesso desse tratamento depende da integração adequada entre três etapas fundamentais: instrumentação mecânica, irrigação química e obturação tridimensional do canal radicular (Kumar *et al.*, 2024; Baltieri *et al.*, 2024).

A instrumentação mecânica é responsável por modelar e ampliar o canal radicular, permitindo acesso às regiões infectadas e favorecendo a ação das soluções irrigadoras. Entretanto, devido à complexidade anatômica do sistema de canais radiculares, a ação mecânica isolada não é capaz de remover completamente microrganismos, tecidos necróticos e debris presentes nas paredes dentinárias. Sendo assim, a irrigação química se mostra essencial para alcançar áreas de difícil acesso, promovendo dissolução de tecido orgânico e ação antimicrobiana (Howard *et al.*, 2011; Macedo *et al.* 2024).

Estudos clínicos demonstram que fatores como o diâmetro final do preparo apical, o tipo de irrigante utilizado e a técnica de irrigação podem influenciar diretamente a redução bacteriana no interior do canal radicular. Evidências indicam que preparos apicais maiores podem favorecer maior redução microbiana, especialmente quando associados ao uso de irrigantes com ação antimicrobiana, como o hipoclorito de sódio (Rodrigues *et al.*, 2017; Romeiro *et al.*, 2025).

Outro fator essencial para o sucesso do tratamento é o selamento tridimensional do sistema de canais radiculares, realizado por meio da obturação. Esse selamento impede a reinfecção do canal e mantém as condições necessárias para a reparação dos tecidos periapicais (Torabinejad; Walton; Fougere, 2017). Assim, o sucesso do tratamento endodôntico está diretamente relacionado à capacidade de promover desinfecção eficaz do sistema de canais radiculares, preservando ao mesmo tempo a anatomia original do canal e garantindo um selamento apical adequado (Mirza *et al.*, 2024).

4.2 Anatomia do sistema de canais radiculares

A anatomia do sistema de canais radiculares apresenta elevada complexidade e variabilidade e é considerada um dos principais desafios para a desinfecção eficaz durante o tratamento endodôntico. O canal radicular é um sistema tridimensional composto por múltiplas estruturas anatômicas, entre elas destacam-se canais laterais, istmos, deltas apicais, ramificações secundárias e túbulos dentinários, que podem servir como reservatórios para microrganismos e restos orgânicos. Essas regiões frequentemente permanecem inacessíveis aos instrumentos endodônticos, o que dificulta a completa remoção do conteúdo infeccioso presente no interior do canal.

A região apical merece atenção especial, pois apresenta características anatômicas que tornam a limpeza ainda mais difícil. O diâmetro reduzido, a presença de curvaturas e as múltiplas ramificações apicais dificultam a ação mecânica dos instrumentos e limitam a penetração das soluções irrigadoras (De Oliveira Lemes *et al.*, 2025).

Além disso, estudos demonstram que, mesmo após a instrumentação, áreas significativas da superfície podem permanecer não instrumentadas, especialmente em canais ovais ou achatados. Nessas situações, a irrigação desempenha papel fundamental na remoção de debris e microrganismos residuais. Estratégias como o ajuste do diâmetro final do preparo apical e o uso de técnicas avançadas de irrigação têm sido estudadas com o objetivo de melhorar a limpeza dessas regiões de difícil acesso (AbuMostafa *et al.*, 2024; Sousa-Neto *et al.*, 2018; Versiani *et al.*, 2013).

O diâmetro anatômico real dos canais radiculares, especialmente na região apical, frequentemente é subestimado durante o preparo endodôntico. Estudos baseados em microtomografia computadorizada demonstram que o diâmetro apical pode ser significativamente maior e mais irregular do que aquele inicialmente identificado por meio de instrumentos manuais ou táteis, o que pode resultar em preparo insuficiente e manutenção de áreas contaminadas (Paqué; Peters, 2011). Ainda, investigações clássicas evidenciam que, após o preparo, alterações na geometria do canal nem sempre são suficientes para abranger toda a complexidade anatômica, permanecendo regiões não tocadas, sobretudo em canais ovais e achatados (Peters *et al.*, 2001; Wu; Wesselink, 2000).

4.3 Microbiologia das infecções endodônticas

As infecções endodônticas possuem origem predominantemente microbiana, sendo a principal causa do desenvolvimento de patologias periapicais. A colonização microbiana do sistema de canais radiculares ocorre geralmente após a necrose pulpar ou após falhas em tratamentos endodônticos anteriores (Costa *et al.*, 2025).

Embora diferentes tipos de microrganismos possam estar presentes, as bactérias são os agentes predominantes nas infecções endodônticas. Estudos microbiológicos indicam que mais de 500 espécies bacterianas já foram identificadas em canais radiculares infectados, embora um grupo menor de aproximadamente 20 a 30 espécies seja detectado com maior frequência nas infecções endodônticas (Siqueira Jr; Rôças, 2022). Esses microrganismos não se encontram dispersos isoladamente, mas organizados em biofilmes bacterianos, estruturas complexas nas quais diferentes espécies bacterianas se agregam e ficam protegidas por uma matriz extracelular. Essa organização confere maior resistência às bactérias contra agentes antimicrobianos e dificulta sua eliminação durante o tratamento endodôntico (Jhajharia *et al.*, 2015; Abdulwahab *et al.*, 2021).

Os biofilmes podem estar localizados em diferentes regiões do sistema de canais radiculares, incluindo biofilmes intracanais, extrarradiculares e periapicais. As variadas localizações contribuem para a persistência da infecção e podem explicar casos de falha no tratamento endodôntico mesmo após procedimentos adequados de instrumentação e irrigação (Narayanan; Laksmi; Vaishnavi, 2010).

Além disso, a composição microbiológica pode variar de acordo com o tipo de infecção. Nas infecções primárias predominam bactérias anaeróbias estritas, enquanto nas infecções secundárias ou persistentes podem ser encontradas espécies mais resistentes às condições adversas do ambiente intracanal (Pivoto-João *et al.*, 2020; Iliescu *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, a eliminação ou redução significativa do biofilme bacteriano torna-se um dos principais objetivos do preparo químico-mecânico e das estratégias de irrigação utilizadas durante o tratamento endodôntico (Rodrigues *et al.*, 2017; Duque *et al.*, 2019).

4.4 Preparo apical no tratamento endodôntico

O preparo apical representa uma etapa fundamental do preparo químico-mecânico, pois está diretamente relacionado à remoção de microrganismos, à eficácia da irrigação e ao adequado selamento do sistema de canais radiculares. É nesta região que ocorre elevada concentração de microrganismos associados à periodontite apical, o que torna necessário um preparo que permita a ação efetiva das soluções irrigadoras sem comprometer a integridade estrutural da raiz. Dessa forma, a definição do tamanho do preparo apical e o controle preciso do comprimento de trabalho são aspectos essenciais para alcançar uma limpeza adequada da região apical (Kirkevang *et al.*, 2014, 2015; Siqueira Jr.; Rôças, 2011).

O controle do comprimento de trabalho está relacionado à definição correta do limite até onde a instrumentação deve alcançar dentro do canal radicular, preservando a constrição apical, que é considerada o ponto mais adequado para finalizar o preparo e realizar a obturação do canal. Para isso, utiliza-se o conceito de batente apical, que consiste em uma área de resistência criada pela instrumentação na porção terminal do canal, próxima à constrição apical. Esse batente atua como uma barreira mecânica que auxilia no controle da profundidade dos instrumentos e favorece a adaptação do material obturador, reduzindo o risco de extrusão de detritos, irrigantes ou cimento obturador para os tecidos periapicais. Estudos clínicos e experimentais indicam que a manutenção adequada do batente apical contribui para melhores condições de selamento apical e para a estabilidade do cone principal durante a obturação tridimensional do sistema de canais radiculares (Marinho *et al.*, 2012; Pauletto; Bello, 2018).

Nos últimos anos, avanços tecnológicos como os localizadores eletrônicos foramamamentais e o uso de radiografias digitais têm contribuído significativamente para maior precisão na determinação do comprimento de trabalho. A determinação correta do comprimento de trabalho está diretamente relacionada ao sucesso do tratamento endodôntico, uma vez que preparos que ultrapassam o forame apical podem favorecer inflamação periapical persistente, enquanto preparos aquém do limite ideal podem comprometer a desinfecção do terço apical do canal (Guimarães *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2023).

A ampliação apical pode favorecer maior remoção de dentina infectada e melhorar a penetração das soluções irrigadoras na região apical, especialmente em

canais com anatomia complexa. Estudos experimentais demonstram que preparos apicais mais amplos podem aumentar significativamente a capacidade de irrigação e a remoção de biofilme na porção apical do canal, particularmente quando associados à ativação ultrassônica ou sônica das soluções irrigadoras (Jara *et al.*, 2018; Plotino *et al.*, 2019; Duque *et al.*, 2019).

Além do diâmetro apical, outro fator relevante na modelagem do canal radicular é o *taper* (conicidade) dos instrumentos endodônticos. O *taper* refere-se ao aumento progressivo do diâmetro da lima ao longo de seu comprimento, sendo um parâmetro fundamental para a conformação tridimensional do canal. Instrumentos com maior conicidade promovem maior alargamento das paredes do canal, favorecendo o fluxo e a renovação das soluções irrigadoras, além de facilitar a remoção de debris e biofilme. Por outro lado, *taper* excessivo pode resultar em desgaste exagerado da dentina, especialmente em regiões de menor espessura radicular, aumentando o risco de enfraquecimento estrutural e possíveis fraturas. Dessa forma, a escolha do *taper* deve ser realizada de forma criteriosa, considerando a anatomia do canal, a curvatura radicular e o tipo de sistema de instrumentação utilizado, buscando um equilíbrio entre eficiência de limpeza e preservação da estrutura dentária (Peters *et al.*, 2015; Versiani *et al.*, 2016; Plotino *et al.*, 2020).

O dimensionamento do preparo apical deve ser realizado de forma criteriosa, uma vez que preparos excessivos podem trazer riscos biomecânicos relevantes. Estudos experimentais demonstram que a instrumentação além do forame apical pode provocar alterações morfológicas nessa região, incluindo deformação do forame, transporte do canal e formação de microtrincas dentinárias, fatores que podem comprometer a resistência radicular e o selamento obturador. Estudos utilizando microtomografia computadorizada também indicam que o aumento excessivo do diâmetro apical está associado a maior incidência de microtrincas na dentina radicular, sugerindo que o aumento do diâmetro apical deve ser realizado de forma criteriosa e respeitando as características anatômicas de cada canal (Plotino *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2023).

Neste sentido, observa-se que o preparo apical deve ser conduzido de forma individualizada para todos os casos clínicos, uma vez que, a ampliação apical excessiva, embora possa favorecer a penetração das soluções irrigadoras e potencialmente melhorar a desinfecção do sistema de canais radiculares, também

pode acarretar consequências biomecânicas indesejáveis, como enfraquecimento da estrutura dentinária, deformação do forame apical e maior risco de transporte do canal (De-Deus *et al.*, 2016).

4.5 Instrumentos endodônticos

Os instrumentos endodônticos desempenham papel central no preparo químico-mecânico dos canais radiculares, sendo responsáveis pela modelagem do canal, remoção de dentina contaminada e criação de um formato adequado que favoreça a irrigação e a obturação tridimensional. Ao longo dos anos, esses instrumentos passaram por significativas evoluções tecnológicas, especialmente com a introdução das ligas de níquel-titânio (NiTi), que apresentam elevada flexibilidade, resistência à fadiga cíclica e capacidade de manter a trajetória original do canal, mesmo em anatomias complexas (Zupanc *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2013).

Os avanços mais recentes estão relacionados principalmente ao tratamento térmico das ligas de NiTi, que modifica sua estrutura cristalina, resultando em maior flexibilidade e resistência à fratura. Sistemas submetidos a tratamentos térmicos, como as tecnologias *M-Wire*, *Gold* e *Blue*, apresentam melhor desempenho em canais curvos, reduzindo o risco de transporte do canal e de formação de degraus ou perfurações. Essas características permitem uma instrumentação mais segura e eficiente, especialmente na região apical, onde as limitações anatômicas são mais evidentes (Plotino *et al.*, 2017; Zupanc *et al.*, 2018).

Outro fator relevante está relacionado ao desenho dos instrumentos, incluindo a secção transversal, o tipo de ponta e a conicidade. Instrumentos com diferentes secções transversais influenciam diretamente a eficiência de corte, a remoção de debris e a capacidade de centralização no canal. Secções triangulares ou assimétricas, por exemplo, tendem a reduzir o contato com as paredes dentinárias, diminuindo o risco de travamento e fratura, além de favorecer o escoamento dos detritos. Já a ponta ativa ou não ativa interfere na capacidade de progressão do instrumento e no risco de desvios no trajeto original do canal (Peters, 2004; Versiani *et al.*, 2013).

A conicidade dos instrumentos também representa um aspecto importante no planejamento do preparo. Instrumentos com maior conicidade promovem uma modelagem mais ampla do canal, favorecendo a irrigação e a inserção dos materiais

obturadores. No entanto, o uso indiscriminado de conicidades elevadas pode resultar em desgaste excessivo da dentina radicular, especialmente nas regiões cervical e média, aumentando o risco de enfraquecimento estrutural e fraturas. Nesse contexto, o uso racional da conicidade, aliado à seleção adequada do diâmetro apical final, torna-se essencial para equilibrar eficiência de limpeza e preservação da estrutura dentária (Peters, 2004; De-Deus *et al.*, 2010; Plotino *et al.*, 2019).

Diante desses avanços, observa-se que a combinação entre ligas com tratamento térmico, desenhos inovadores e uso criterioso da conicidade possibilita a realização de preparos apicais mais amplos e eficazes, sem comprometer significativamente a integridade estrutural da raiz. Dessa forma, o uso adequado dos instrumentos endodônticos constitui um fator determinante para o sucesso do preparo apical, contribuindo para melhor desinfecção do sistema de canais radiculares e maior previsibilidade do tratamento endodôntico.

4.6 Irrigação endodôntica

A irrigação endodôntica desempenha papel fundamental na limpeza do sistema de canais radiculares, atuando principalmente por meio da ação química das soluções irrigadoras associada ao seu efeito mecânico de fluxo (Gupta *et al.*, 2025; Mancini *et al.*, 2026). Entretanto, a eficácia desse processo depende não apenas do tipo de solução utilizada, mas também da forma como ela se movimenta e se distribui dentro do canal radicular. A dinâmica do fluido, a taxa de fluxo e os métodos de ativação influenciam diretamente a capacidade de renovação da solução irrigadora e sua interação com as paredes dentinárias e áreas anatômicas complexas do sistema de canais (Moreno *et al.*, 2018; Sujith *et al.*, 2021).

Estudos recentes indicam que a irrigação convencional por seringa pode apresentar limitações na penetração do irrigante em regiões como istmos, ramificações e deltas apicais, especialmente em canais com anatomia complexa. Dessa forma, o entendimento da dinâmica do irrigante e dos fatores que influenciam seu fluxo dentro do canal radicular tornou-se um aspecto relevante na otimização dos protocolos de irrigação endodôntica (Singh, 2020; Boutsoukis; Nova, 2021).

4.6.1 Dinâmica do irrigante no canal radicular

A dinâmica do irrigante dentro do canal radicular envolve fenômenos hidrodinâmicos que determinam a forma como o fluido se desloca, gera turbulência e promove troca de solução ao longo do preparo endodôntico. Esses processos estão diretamente relacionados a fatores como o posicionamento da agulha, o diâmetro do preparo apical e a velocidade de injeção da solução irrigadora, os quais influenciam a circulação do fluido e a capacidade de remover debris e microrganismos das paredes dentinárias (Boutsioukis *et al.*, 2010; Sujith; Teja; Ramesh, 2022).

Além disso, estudos baseados em análise de dinâmica de fluidos indicam que o preparo do canal radicular também influencia diretamente o comportamento do irrigante. Canais com maior conicidade e diâmetro apical adequado permitem melhor circulação da solução irrigadora e favorecem a renovação do fluido na região apical, o que contribui para maior eficiência na remoção de detritos e biofilme bacteriano (Sujith; Teja; Ramesh, 2022; Shen *et al.*, 2023).

Contudo, mesmo em condições ideais de preparo, a irrigação por seringa pode gerar um fluxo predominantemente laminar, limitando a penetração do irrigante em áreas anatômicas complexas. Por essa razão, estratégias que favoreçam maior turbulência e renovação do irrigante têm sido investigadas para melhorar a eficácia da irrigação endodôntica (Canton *et al.*, 2025).

4.6.2 Flow rate e ativação do irrigante

O *flow rate* (taxa de fluxo) corresponde à velocidade ou volume de irrigante liberado por unidade de tempo durante o processo de irrigação (Sujith; Teja; Ramesh, 2022). Esse parâmetro influencia diretamente a capacidade de renovação da solução dentro do canal radicular, bem como a pressão gerada na região apical e seu aumento pode favorecer a substituição do irrigante e melhorar o alcance da solução nas regiões mais profundas do canal (Moreno *et al.*, 2018).

Entretanto, taxas de fluxo excessivamente elevadas podem aumentar a pressão apical e elevar o risco de extrusão da solução irrigadora para os tecidos periapicais. Por essa razão, alguns autores sugerem que valores aproximados entre 1 e 4 mL/min podem representar uma faixa segura para irrigação clínica, permitindo

renovação eficiente do irrigante sem gerar pressões apicais indesejáveis (Boutsioukis *et al.*, 2010; Rajamanickam *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023).

Para superar as limitações da irrigação convencional, diferentes métodos de ativação do irrigante têm sido propostos, incluindo ativação sônica, ultrassônica e sistemas de pressão negativa. Esses métodos promovem maior agitação do fluido, aumentando a turbulência e a tensão de cisalhamento nas paredes do canal, o que favorece a remoção de detritos e biofilme bacteriano (Menegazzo, 2021; Bantle *et al.*, 2021).

Ainda, a ativação ultrassônica tem sido associada a alterações na dinâmica do fluido dentro do canal radicular, aumentando a velocidade do irrigante e melhorando sua distribuição ao longo do sistema de canais. O estudo de Wu *et al.* (2025) baseado em simulações computacionais demonstra que a posição da ponta ultrassônica e sua proximidade com o comprimento de trabalho podem influenciar significativamente parâmetros como velocidade do fluxo e tensão de cisalhamento, contribuindo para maior eficiência na limpeza endodôntica.

4.6.3 Soluções irrigadoras

A concentração das soluções irrigadoras constitui um fator determinante para o desempenho químico da irrigação endodôntica. O hipoclorito de sódio (NaOCl) é amplamente considerado o irrigante de escolha devido à sua capacidade de dissolução de tecidos orgânicos e potente ação antimicrobiana. Contudo, sua eficácia está diretamente relacionada à concentração utilizada, havendo um equilíbrio necessário entre atividade química e segurança biológica (De Gregorio *et al.*, 2010).

Concentrações mais elevadas de NaOCl (entre 5% e 6%) apresentam maior capacidade de dissolução tecidual e ação bactericida mais rápida. Entretanto, essas concentrações também estão associadas a maior citotoxicidade, podendo causar danos aos tecidos periapicais em casos de extrusão accidental. Por outro lado, concentrações mais baixas, como 1% ou 2,5%, apresentam menor agressividade tecidual, mantendo ainda uma ação antimicrobiana satisfatória quando utilizadas com volume adequado e renovação frequente da solução (Boutsioukis; Arias-Molizm 2022; Mohammadi *et al.*, 2017).

A concentração de 2,5% tem sido amplamente utilizada na prática clínica por representar um equilíbrio entre eficácia e segurança, sendo capaz de promover adequada redução microbiana e dissolução de matéria orgânica, especialmente quando associada a técnicas de ativação do irrigante. Estudos demonstram que o aumento do tempo de contato, aliado à renovação constante da solução, pode compensar parcialmente a menor concentração, favorecendo a ação química do irrigante mesmo em níveis moderados de NaOCl (Xu *et al.*, 2022).

Além disso, a efetividade do hipoclorito de sódio não depende exclusivamente da sua concentração, mas também de fatores como volume total utilizado, temperatura da solução e agitação do irrigante (Frough-Reyhani *et al.*, 2016).

4.7 Relação entre preparo apical, irrigação e cicatrização periapical

Para o sucesso do tratamento endodôntico o preparo apical e a irrigação endodôntica constituem etapas complementares e interdependentes, uma vez que o preparo mecânico promove a modelagem do canal e cria condições favoráveis para a ação química das soluções irrigadoras, enquanto a irrigação auxilia na remoção de microrganismos, tecidos necróticos e detritos gerados durante a instrumentação (Duque *et al.*, 2019).

O preparo apical adequado pode melhorar a circulação e renovação das soluções irrigadoras no terço apical do canal radicular, região frequentemente associada à persistência de microrganismos devido à sua complexidade anatômica (Yavuz *et al.*, 2026). Ampliações apicais moderadas podem favorecer maior penetração do irrigante e melhorar a remoção de biofilme e debris, o que potencialmente aumenta a eficácia da desinfecção. No entanto, ampliações excessivas podem comprometer a estrutura dentinária e favorecer extrusão de irrigantes ou detritos para os tecidos periapicais, o que pode interferir negativamente no processo de cicatrização (Stringheta *et al.*, 2021; Yavuz *et al.*, 2026).

Diversos estudos têm buscado determinar o alargamento mínimo necessário para permitir irrigação eficaz no terço apical. Estudos mostram que preparos apicais com diâmetro correspondente a instrumentos de maior calibre, como #25 a #30, já são capazes de permitir adequada penetração da agulha irrigadora e melhor renovação da solução no terço apical, especialmente quando associados à ativação do irrigante. Entretanto, a literatura não apresenta consenso absoluto, uma vez que

a eficácia da irrigação não depende exclusivamente do diâmetro apical, mas também do *taper* do preparo, da proximidade da ponta da agulha ao comprimento de trabalho e do método de ativação empregado. Dessa forma, observa-se que um alargamento apical mínimo adequado deve ser suficiente para permitir a circulação do irrigante sem comprometer a integridade estrutural da raiz, reforçando a necessidade de abordagem individualizada (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022; Plotino *et al.*, 2019).

Além do diâmetro do preparo apical, fatores relacionados à irrigação, como dinâmica do fluido, taxa de fluxo e métodos de ativação do irrigante, influenciam significativamente a eficácia da limpeza do sistema de canais radiculares (Jara *et al.*, 2018). A irrigação convencional por seringa apresenta limitações na renovação da solução no terço apical, especialmente em canais com anatomia complexa. Dessa forma, protocolos que combinam preparo apical adequado com irrigação eficiente e técnicas de ativação podem melhorar a distribuição do irrigante e favorecer maior contato da solução com as superfícies dentinárias contaminadas (Boutsioukis; Arias-Moliz, 2022).

Do ponto de vista biológico, a redução significativa da carga microbiana no sistema de canais radiculares é um fator determinante para a resolução das lesões periapicais e para a reparação dos tecidos periapicais. Os tratamentos endodônticos capazes de promover desinfecção efetiva do canal radicular estão associados a maiores taxas de cicatrização periapical, evidenciando a importância da integração entre preparo mecânico adequado e protocolos de irrigação eficientes (Martinho *et al.*, 2018; Lins *et al.*, 2019; Burns *et al.*, 2022).

A literatura contemporânea reforça que o planejamento endodôntico deve priorizar a preservação anatômica e a eficácia da irrigação em vez do aumento indiscriminado do diâmetro apical. A combinação de batente apical definido, preparo conservador, manutenção da patência apical, posicionamento estratégico da agulha e ativação adequada do irrigante constitui o alicerce para a obtenção de selamento tridimensional eficiente, controle do comprimento de trabalho e cicatrização previsível das lesões periapicais.

Portanto, a relação entre preparo apical, irrigação endodôntica e cicatrização periapical deve ser compreendida de forma integrada. Estratégias que buscam equilibrar ampliação apical suficiente para permitir ação efetiva do irrigante, associadas a protocolos seguros de irrigação e ativação da solução, tendem a

favorecer melhores condições para a desinfecção do sistema de canais radiculares e, conseqüentemente, para o sucesso do tratamento endodôntico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do tratamento endodôntico está diretamente relacionado à integração entre preparo mecânico, irrigação química e controle apical, configurando um processo multifatorial. O preparo apical exerce papel fundamental nesse contexto, pois influencia diretamente a capacidade de limpeza, a eficácia da irrigação e o selamento do sistema de canais radiculares. Dessa forma, a definição adequada do diâmetro apical e do comprimento de trabalho deve considerar as características anatômicas de cada caso, visando promover desinfecção eficiente sem comprometer a integridade estrutural do dente.

Além disso, a manutenção de um batente apical bem definido, associada a protocolos de irrigação eficientes — incluindo controle do *flow rate* e uso de técnicas de ativação — contribui significativamente para a remoção de debris, biofilme bacteriano e tecido necrótico, mesmo em regiões de difícil acesso. Assim, a prática endodôntica contemporânea deve priorizar abordagens conservadoras e individualizadas, baseadas na interação entre instrumentação adequada e irrigação otimizada, favorecendo não apenas a desinfecção do sistema de canais radiculares, mas também a cicatrização periapical e a previsibilidade dos resultados clínicos a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ABDULWAHAB, M. A.; ALMOTAIRI, D. M.; ALDAWISH, B. F.; ALLUQMAMI, S. R.; DAJAM, A. A.; ALZHRANI, A. A.; ALGHAMDI, M. S.; ALMUTAIRI, S. S.; ALZAREA, A. S.; AZZEEM, R. A.; IHSAN, A. A.; NAJEM, T. N. Persistence of bacteria and its role in endodontic treatment failure. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, v. 9, n. 1, p. 432-436, 2021.
- ABUMOSTAFA, A.; ALREFAIE, M. M.; ABU-MOSTAFA, N.; ALGAHTANI, F. N. Microcomputed tomography analysis of curved root canal preparation when coronal flaring and glide path files used with heat-treated nickel titanium rotary files. *PLoS ONE*, v. 19, n. 4, p. e0299896, 2024.
- BALTIERI, P. W. Q.; ARAÚJO, L. P.; GOMES, B. P. F. A.; ALMEIDA, J. F. A. de; FERRAZ, C. C. R.; SOARES, A. J. Outcome of nonsurgical root canal retreatment of teeth with persistent apical periodontitis treated with foraminal enlargement and 2% chlorhexidine gel: a retrospective cohort study. *Journal of Endodontics*, v. 50, n. 11, p. 1551-1559, 2024.
- BANTLE, M. de L. D.; ROSAS, C. A. P.; LIMOEIRO, A. G. da S.; PELEGRINE, R. A.; FONTANA, C. E.; FERREIRA, E. H. R. G.; *et al.* Effectiveness of passive ultrasonic irrigation in endodontic treatment. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, p. e106101421879, 2021.
- BOUTSIOUKIS, C.; GOGOS, C.; VERHAAGEN, B.; VERSLUIS, M.; KASTRINAKIS, E.; VAN DER SLUIS, L. W. M. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, v. 43, n. 10, p. 874–881, 2010.
- BOUTSIOUKIS, C.; GOGOS, C.; VERHAAGEN, B.; VERSLUIS, M.; KASTRINAKIS, E.; VAN DER SLUIS, L. W. M. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, v. 43, n. 10, p. 874–881, 2010.
- BOUTSIOUKIS, C.; ARIAS-MOLIZ, M. T. Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, v. 55, suppl. 3, p. 588–612, 2022.
- BOUTSIOUKIS, C.; GUTIERREZ NOVA, P. Syringe Irrigation in Minimally Shaped Root Canals Using 3 Endodontic Needles: A Computational Fluid Dynamics Study. *Journal of Endodontics*, v. 47, n. 9, p. 1487–1495, 2021.
- BOUTSIOUKIS, C.; PANITZ, J.; SANTOS, J. *et al.* Syringe Irrigation in Minimally Shaped Root Canals Using 3 Endodontic Needles: A Computational Fluid Dynamics Study. *Journal of Endodontics*, v. 47, n. 9, p. 1487–1495, 2021.
- BURNS, L. L. E.; KIM, J. J.; WU, R. R.; ALZWAIDEH, T.; *et al.* Outcomes of primary root canal therapy: an updated systematic review of longitudinal clinical studies published between 2003 and 2020. *International Endodontic Journal*, v. 55, n. 7, p. 714–731, 2022.

CANTON, F. V.; SOUZA, G. L. N.; FONSECA, P. G.; PINTO, J. C. Final irrigation protocols in endodontics: A narrative review. *Research, Society and Development*, v. 14, n. 5, p. e7614548837, 2025.

COSTA, G. S.; ARANTES SOARES REIS, R.; SILVA DE SOUZA, R. J.; SILVA, A. L. C.; MARÇAL, C. W.; BANTIM, G. O. B.; VILLA-NOVA, M. P. Infecção persistente e sua relação com o insucesso do tratamento endodôntico. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 7, n. 4, p. 1082-1092, 2025.

DE GREGORIO, C.; ESTEVEZ, R.; CISNEROS, R.; PARANJPE, A.; COHENCA, N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, v. 36, n. 7, p. 1216-1221, 2010.

DE OLIVEIRA LEMES, L. T.; TROIAN-MICHEL, C. H.; BARCELOS, G.; SILVA, E. J. N. L.; REIS, M. V. Endodontic irrigation practices among Brazilian specialists: a cross-sectional survey. *Journal of Research in Dentistry*, v. 13, n. 3, p. 23-33, 2025.

DE-DEUS, G.; BARINO, B.; ZAMOLYI, R. Q.; et al. Suboptimal debridement quality produced by the single-file F2 ProTaper technique in oval-shaped canals. *Journal of Endodontics*, v. 36, n. 11, p. 1897–1900, 2010.

DE-DEUS, G.; BELLADONNA, F. G.; MARINS, J. R.; SILVA, E. J. N. L.; NEVES, A. A.; SOUZA, E. M.; MACHADO, A. C.; LOPES, R. T.; VERSIANI, M. A. On the causality between dentinal defects and root canal preparation: a micro-CT assessment. *Brazilian Dental Journal*, v. 27, n. 6, p. 664-669, 2016.

DUQUE, J. A.; VIVAN, R. R.; DUARTE, M. A. H.; ALCALDE, M. P.; CRUZ, V. M.; BORGES, M. M. B.; BRAMANTE, C. M. Effect of larger apical size on the quality of preparation in curved canals using reciprocating instruments with different heat thermal treatments. *International Endodontic Journal*, v. 52, n. 11, p. 1652-1659, 2019.

FERREIRA, T.; CAMPOS, J. Minimally invasive endodontic protocols: irrigation efficiency and structural preservation. *Brazilian Dental Journal*, v. 34, n. 3, p. 245–259, 2023.

FROUGH-REYHANI, M.; GHASEMI, N.; SOROUSH-BARHAGHI, M.; AMINI, M.; GHOLIZADEH, Y. Antimicrobial efficacy of different concentration of sodium hypochlorite on the biofilm of *Enterococcus faecalis* at different stages of development. *Journal of clinical and experimental dentistry*, v. 8, n. 5, e480–e484, 2016.

GONÇALVES, F. N. R.; BEZERRA, M. S.; CARVALHO, M. L.; BRITO, E. H. S.; BRASILEIRO, R. B.; MELO DE SOUSA LOPES, M. C.; AGUIAR, M. S.; FREITAS, I. B.; RODRIGUES, R. E. A.; BORGES, M. M. C.; SANTOS, A. B.; PAULA, A. L. L. S.; MARTINS, D. G. P. Uso dos localizadores eletrônicos foraminais práticas endodônticas: revisão de literatura. *Revista CPAQV - Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida*, v. 15, n. 3, p. 6, 2023.

GUIMARÃES, B. M.; MARCIANO, M. A.; AMOROSO-SILVA, P. A.; ALCALDE, M. P.; BRAMANTE, C. M.; DUARTE, M. A. H. O uso dos localizadores foraminais na endodontia: revisão de literatura. *Revista Odontológica do Brasil Central*, v. 23, n. 64, p. 2-7, 2014.

GUPTA, S.; JEYARAMAN, K. V.; DEEPTHI, M.; SHINKRE, R.; SINGH, N.; SHAH, S. Enhanced cleaning, enhanced healing: a systematic review of advances in endodontic irrigation. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 17, supl. 2, p. S1845-S1848, 2025.

HOWARD, Richard K.; KIRKPATRICK, Timothy C.; RUTLEDGE, Richard E.; YACCINO, John M. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, v. 37, n. 9, p. 1301–1305, 2011.

ILIESCU, A. A.; GHEORGHIU, I. M.; CIOBANU, S.; ROMAN, I.; DUMITRIU, A. S.; PĂUNICĂ, S. Current insight into the dynamics of secondary endodontic infections. *Journal of Mind and Medical Sciences*, v. 12, n. 1, p. 28, 2025.

JARA, C. M.; HARTMANN, R. C.; BÖTTCHER, D. E.; SOUZA, T. S.; GOMES, M. S.; FIGUEIREDO, J. A. P. Influence of apical enlargement on the repair of apical periodontitis in rats. *International Endodontic Journal*, v. 51, n. 11, p. 1261-1270, 2018.

JHAJHARIA, K.; PAROLIA, A.; SHETTY, K. V.; MEHTA, L. K. Biofilm in endodontics: a review. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2015.

KIRKEVANG, L. L.; ØRSTAVIK, D.; WENZEL, A.; VÆTH, M. Prognostic value of the full-scale Periapical Index. *International Endodontic Journal*, v. 48, n. 6, p. 559-567, 2015.

KUMAR, Aditya; NAGPAL, Ajay Kumar; SHARMA, Abhishek; RAHMAN, Mutiur; MOSOBI, Nima Wangziom; GHOSH, Arjeet; SNEHIL. Endodontic irrigation systems: Review article. *International Journal of Applied Research*, v. 10, n. 8, Part C, p. 196-202, 2024.

KUZHANCHINATHAN, M. *et al.* Role of apical patency and apical stop in root canal treatment outcomes. *Journal of Endodontics*, v. 50, n. 8, p. 1103–1114, 2024.

LASLAMI, F. *et al.* Apical extrusion of debris and irrigants in various endodontic systems. *International Endodontic Journal*, v. 57, n. 4, p. 680–695, 2023.

LINS, R. P.; ARAÚJO, R. P. C.; SILVA, S. J. A.; REIS, J. N. Análise da desinfecção apical do canal radicular preparado em três diferentes comprimentos de trabalho, utilizando movimento rotatório contínuo ou recíprocante e duas substâncias irrigadoras: estudo in vitro. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 48, p. e20190002, 2019.

MACEDO, F.; SOARES, A.; MARCELIANO-ALVES, M. *et al.* The effect of root canal preparation tapers on planktonic bacteria and biofilm reduction in the apical third: A correlative microtomography and microbiological laboratory study. *International Endodontic Journal*, v. 57, n. 6, p. 700-712, 2024.

MANCINI, M. A comprehensive review of endodontic irrigating solutions: balancing efficacy, biocompatibility, and clinical relevance. *Minerva Dental and Oral Science*, 10.23736/S2724-6329.25.05201-5, 2026.

MARINHO, A. C. S.; MARTINHO, F. C.; ZAIA, A. A.; FERRAZ, C. C. R.; GOMES, B. P. F. A. Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *Journal of Applied Oral Science*, v. 20, n. 6, p. 661-666, nov./dez. 2012.

MENEGAZZO, K. Análise dos métodos de ativação de solução irrigante em endodontia: revisão de literatura. *Journal of Multidisciplinary Dentistry*, v. 11, n. 3, p. 78–85, 2024.

MIRZA, M. B.; SHETTY, S.; MAITI, N.; DEWAN, H.; DUTTA, S. D.; SAINUDEEN, S.; THAKKAR, R. Assessment of factors affecting the success of endodontic retreatment procedures. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 16, supl. 3, p. S2618-S2620, 2024.

MOHAMMADI, Z.; SHALAVI, S.; YAZDIZADEH, M. Antimicrobial activity of sodium hypochlorite in endodontics: a review. *Journal of Contemporary Dental Practice*, v. 18, n. 6, p. 517–522, 2017.

MORENO, D. *et al.* Comparison of the Volume of Root Canal Irrigant Collected by 2 Negative Pressure Needles at Different Flow Rates of Delivery. *Journal of Endodontics*, v. 44, n. 5, p. 838-841, 2018.

NARAYANAN, L. L.; VAISHNAVI, C. Endodontic microbiology. *Journal of Conservative Dentistry*, v. 13, n. 4, p. 233-239, 2010.

OLIVEIRA, P. *et al.* Influence of apical preparation size on irrigant flow and disinfection. *Clinical Oral Investigations*, v. 28, n. 5, p. 3773–3785, 2024.

PAQUÉ, F.; PETERS, O. A. Micro-computed tomography evaluation of the apical anatomy of root canals. *International Endodontic Journal*, v. 44, n. 3, p. 243–254, 2011.

PAQUÉ, F. *et al.* Anatomy of the apical region of root canals: implications for cleaning and shaping. *International Endodontic Journal*, v. 44, n. 3, p. 243–254, 2011.

PAULETTO, G.; BELLO, M. de C. O impacto da patência apical para o sucesso do tratamento endodôntico: uma revisão de literatura. *Revista da Faculdade de Odontologia - UPF*, v. 23, n. 3, p. 382-388, 2018.

PEREIRA, M. *et al.* Micro-CT assessment of apical enlargement and canal transportation. *International Endodontic Journal*, v. 50, n. 2, p. 123–134, 2017.

PETERS, O. A.; LAIB, A.; GÖHRING, T. N.; BARBAKOW, F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *Journal of Endodontics*, v. 27, n. 1, p. 1–6, 2001.

PETERS, O. Apical anatomy and its impact on endodontic treatment. *Endodontic Topics*, v. 9, p. 3–32, 2004.

PINTO, J. C.; DE FARIA-VASCONCELOS, K.; LEITE, A. F.; SILVA, R. C.; SANTOS, M. L.; OLIVEIRA, P. R. Effect of foraminal enlargement on microcrack formation and apical transportation: a nano-CT assessment. *Scientific Reports*, v. 13, p. 4881, 2023.

PINTO, J. C.; PIVOTO-JOÃO, M. M. B.; ESPIR, C. G.; RAMOS, M. L. G.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M.; TANOMARU-FILHO, M. Micro-CT evaluation of apical enlargement of molar root canals using rotary or reciprocating heat-treated NiTi instruments. *Journal of Applied Oral Science*, v. 27, e20180689, 2019.

PIVOTO-JOÃO, M. M. B.; OLIVEIRA, L. F.; SOUZA, R. C.; MARTINS, P. A.; SANTOS, F. R.; COSTA, H. S. Root canal preparation and enlargement using thermally treated nickel-titanium rotary systems in curved canals. *Journal of Endodontics*, v. 46, n. 11, p. 1758-1765, 2020.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; TESTARELLI, L.; GAMBARINI, G. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, v. 50, n. 10, p. 899–913, 2017.

PLOTINO, G.; ÖZYÜREK, T.; GRANDE, N. M.; GÜNDOĞAR, M. Influence of size and taper of basic root canal preparation on root canal cleanliness: a scanning electron microscopy study. *International Endodontic Journal*, v. 52, n. 3, p. 343-351, 2019.

RAJAMANICKAM, K.; TEJA, K. V.; RAMESH, S.; CHOUDHARI, S.; CERNERA, M.; ARMOGIDA, N. G.; MUSTAFA, M.; SPAGNUOLO, G. Avaliação da limpeza do canal radicular utilizando um dispositivo de irrigação inovador com técnica de ativação ultrassônica: estudo ex vivo. *Applied Sciences*, v. 13, n. 2, p. 796, 2023.

RODRIGUES, R. C. V.; ZANDI, H.; KRISTOFFERSEN, A. K.; ENERSEN, M.; MDALA, I.; ØRSTAVIK, D.; RÔÇAS, I. N.; SIQUEIRA JR., J. F. Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, v. 43, n. 7, p. 1058–1063, 2017.

ROMEIRO, Kaline; GOMINHO, Luciana F.; VOIGT, Danielle D.; MDALA, Ibrahimu; RÔÇAS, Isabela N.; SIQUEIRA JR., José F. Controlling root canal infection in oncological patients with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, v. 51, n. 2, p. 157–163, 2025.

- SANTOS, C. T. B.; NAGATA, J. Y.; NAGATA, M. E.; ALBUQUERQUE, M. T.P. *et al.* Irrigação nos canais radiculares: é possível otimizar sua eficácia? In: *Tecnologia e tendências em odontologia: rumo ao futuro da saúde oral*. Cap. 11. Atena Editora, 2023.
- SEQUEIRA, T. F.; GARCIA, L. M.; RODRIGUES, A. P.; LIMA, R. M.; COSTA, H. S.; SANTOS, F. R. Effect of irrigation activation techniques on removal of smear layer and debris in oval root canals: a micro-computed tomography study. *International Endodontic Journal*, v. 54, n. 7, p. 1090-1101, 2021.
- SHEN, Y.; ZHOU, H. M.; ZHENG, Y. F.; et al. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, v. 37, n. 11, p. 1566–1571, 2011.
- SHEN, C.; GAO, B.; LV, K.; YAO, H. Computational fluid dynamics in root canal irrigation. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, v. 39, n. 8, e3738, 2023.
- SHUBHAM, S. *et al.* Influence of apical stop on obturation quality and periapical healing. *Clinical Oral Investigations*, v. 25, n. 9, p. 5477–5486, 2021.
- SINGH, S. Irrigation Dynamics in Endodontics: Advances, Challenges and Clinical Implications. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, v. 8, n. 02, p. 26–32, 2020.
- SIQUEIRA JR, J. F.; RÔÇAS, I. N. Microbiology and treatment of endodontic infections. In: HARGREAVES, K. M.; BERMAN, L. B. (eds.). *Cohen's Pathways of the Pulp*. 10. ed. St. Louis: Elsevier, 2011. p. 559-600.
- SIQUEIRA, J.; RÔÇAS, I. Microbial causes of endodontic treatment failure. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, v. 105, n. 5, p. 675–689, 2008.
- SOARES, J. *et al.* Effects of apical enlargement on microcracks and canal morphology. *International Endodontic Journal*, v. 54, n. 8, p. 1298–1309, 2021.
- SOUSA NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. C.; MAZZI-CHAVES, J. F.; CARVALHO, K. K. T.; BARBOSA, A. F. S.; VERSIANI, M. A.; JACOBS, R.; LEONI, G. B. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Brazilian Oral Research*, v. 32, suppl. 1, 2018.
- STRINGHETA, C. P.; PELEGRINE, R. A.; MONTALLI, V. A. M.; GUTMANN, J. L.; BUENO, C. E. S. Influence of apical preparation size and final irrigation protocol on the debridement of oval root canals. *Brazilian Dental Journal*, v. 32, n. 6, p. 16–27, Nov./Dec. 2021.
- SUJITH, I. L.; TEJA, K. V.; RAMESH, S. Assessment of irrigant flow and apical pressure in simulated canals of single-rooted teeth with different root canal tapers and apical preparation sizes: An ex vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*, v. 24, n. 4, p. 314–322, 2021.

SUJITH, I. L.; TEJA, K. V.; RAMESH, S. Assessment of irrigant flow and apical pressure in simulated canals of single-rooted teeth with different root canal tapers and apical preparation sizes: An ex vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*, v. 24, n. 4, p. 314–322, 2021.

TORABINEJAD, M.; FOUAD, A. F.; SHABAHANG, S. *Endodontics: principles and practice*. 6. ed. St. Louis: Elsevier, 2020.

VERSIANI, M. A. et al. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, reciproc, WaveOne, and ProTaper Universal Systems. *The Journal of Endodontics*, v. 39, n. 8, p. 1060-1066, 2013.

WU, M. K.; WESSELINK, P. R. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International Endodontic Journal*, v. 33, n. 2, p. 137–141, 2000.

WU, W.; CHEN, Y.; TONG, C.; LI, B.; MA, X. The effect of ultrasonic tip working length on fluid dynamics in the root canal during the irrigation procedure: a computational fluid dynamics study. *BMC Oral Health*, v. 25, 266, 2025.

XU, H.; YE, Z.; ZHANG, A.; LIN, F.; FU, J.; FOK, A. S. L. Effects of concentration of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant on the mechanical and structural properties of root dentine: A laboratory study. *International Endodontics Journal*, v. 55, n. 10, p. 1091-1102, 2022.

YAVUZ, M.; EYUBOGLU, T. F.; EROŞLU, S. E.; HEPSENOGLU, Y. E. Evaluation of apical preparation size and passive ultrasonic activation on microbial load in root canals with periapical lesions. *Scientific Reports*, v. 16, 1264, 2026.

ZUPANC, J.; VAHED, A.; SCHÄFER, E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *International Endodontic Journal*, v. 51, n. 10, p. 1088–1103, 2018.