



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

COMPARAÇÃO DO EFEITO BACTERICIDA DE LASERS COMBINADOS COM IRRIGANTES SOBRE O ENTEROCOCCUS FAECALIS - REVISÃO INTEGRATIVA

[Comparison of the Bactericidal Effect of Lasers combined with irrigants on
Enterococcus faecalis - Integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Daria Abate

Orientador:

Mestre Alexandra Martins

Junho 2024

**COMPARAÇÃO DO EFEITO BACTERICIDA DE LASERS
COMBINADOS COM IRRIGANTES SOBRE O ENTEROCOCCUS
FAECALIS - REVISÃO INTEGRATIVA**

[Comparison of the Bactericidal Effect of Lasers combined with irrigants on
Enterococcus faecalis - Integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Daria Abate

Orientador:

Mestre Alexandra Martins

Junho 2024

A mio padre e mia madre, per il loro amore e incoraggiamento senza fine, per avermi sempre sostenuto con amore e fiducia.

A Rocco, il mio futuro nipotino, augurandogli un mondo pieno di infinite opportunità e felicità, ti sto aspettando con ansia.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Alexandra Martins, pela orientação e apoio constantes durante a elaboração desta tese, mas sobretudo gostaria de lhe agradecer a sua simpatia e cordialidade.

Aos professores e assistentes clínicas, por me terem dado a oportunidade de aprofundar os meus conhecimentos.

Alla mia famiglia:

Mio padre, il mio punto di riferimento e posto sicuro, che con la sua infinita ironia mi ha sempre sostenuto nei momenti di sconforto; My mother, my biggest supporter and best friend. You shared with me the joys of each small success along the way. Your kindness and endless love made me a better person; Grazie per il vostro amore incondizionato.

Ad Andrea, con cui ho condiviso un legame di amore e “odio” che si è trasformato sempre più in amore, per essere cresciuto al mio fianco;

A Fabio e Roberta, che mi hanno vista crescere, sostenuta, rimproverata (a volte) e coccolata.

A mio zio Marco, complice e compagno di giochi preferito di sempre, grazie per aver sempre creduto in me, più di quanto avessi mai fatto io.

A mio nonno Francesco, per non aver mai dubitato delle mie capacità. E alle mie nonne Rosa e Leonilda, e a mio nonno Natale, che non sono più con me ma vivono nel mio cuore e nei miei ricordi.

A Mattia, mio confidente, amico e compagno, per essere stato la mia costante, al mio fianco in ogni circostanza, tra alti e bassi, tra battibecchi e risate, tra urla e amore.

Al mio cane, Floki, per dormire sempre al mio fianco, per vegliare su di me mentre mi faccio la doccia, per proteggermi dalle macchine che passano davanti a casa, e per avermi insegnato un modo nuovo e diverso di amare.

Alla mia amica d'infanzia Ilaria, per aver condiviso risate e prime volte; alle mie amiche del liceo Silvia e Lucia, che hanno reso la mia adolescenza indimenticabile e per farmi sentire come se non me ne fossi mai andata.

Alla mia binomia Giorgia, per essere la ‘medica’ e ‘assistente’ più furiosa di sempre.

A tutti i miei colleghi di università, per aver reso ogni momento trascorso insieme, tra viaggi e giochi da tavolo, speciale e divertente.

Infine, vorrei ringraziare Porto, la mia seconda casa, per aver contribuito alla mia crescita personale, per essere stato lo sfondo di questi anni, tra pioggia e vento, ricordandomi sempre di attendere l'arrivo del sole.

Obrigada.

RESUMO

Sendo a infecção uma das principais causas da realização de um tratamento endodôntico e alcançar a máxima desinfecção do sistema de canais radiculares o seu principal objetivo, pretendeu-se com a realização deste trabalho determinar se os seguintes *lasers* Er:YAG e Er,Cr:YSGG, combinados com soluções de NaOCl a 2,5% ou 5,25%, são mais eficazes na eliminação do *Enterococcus faecalis* em comparação com métodos convencionais. Para conseguir obter uma resposta para esta questão de investigação, realizamos uma revisão integrativa da literatura recorrendo aos motores de busca Pubmed, Scopus e B-ON.

Incluímos na amostra 18 artigos, cujos resultados indicam que a utilização combinada de dois lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG com NaOCl é mais eficaz na redução da carga bacteriana do que a utilização isolada de NaOCl. No entanto, os parâmetros do laser, como a potência e o tempo de irradiação, influenciam os resultados. Mais estudos clínicos são necessários para confirmar os resultados, aprimorar as técnicas de tratamento e validar sua eficácia na prática clínica, ajustando os parâmetros do laser utilizados.

Palavras-chave: *Enterococcus faecalis*; Laser-activated irrigation; Er:YAG laser; Er,Cr:YSGG laser; Root Canal disinfection.

ABSTRACT

Since infection is one of the main causes of endodontic treatment and achieving maximum disinfection of the root canal system is its main objective, the aim of this study was to determine whether Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers, combined with 2,5% or 5,25% NaOCl solutions, are more effective in eliminating *Enterococcus faecalis* than conventional methods. To obtain an answer to this research question, we carried out an integrative literature review using the Pubmed, Scopus and B-ON search engines. We included 18 articles in the sample, the results of which indicate that the combined use of Er:YAG or Er,Cr:YSGG lasers with NaOCl is more effective in reducing the bacterial load than the use of NaOCl alone. However, laser parameters such as power and irradiation time influence the results. More clinical studies are needed to confirm the results, improve treatment techniques, and validate their effectiveness in clinical practice by adjusting the laser parameters used.

Keywords: *Enterococcus faecalis*; Laser-activated irrigation; Er:YAG laser; Er,Cr:YSGG laser; Root Canal disinfection.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESENVOLVIMENTO.....	7
2.1. Materiais e métodos.....	7
2.1.1. Fontes de pesquisa	7
2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão	7
2.2. Resultados.....	9
2.2.1. Seleção dos estudos	9
2.2.2. Características dos estudos selecionados.....	11
2.2.3. Resultados dos estudos selecionados.....	21
2.3. Discussão	32
3. CONCLUSÃO.....	39
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação gráfica do diagrama PRISMA (<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>).....	10
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características dos estudos selecionados para a análise.....14

Tabela 2. Resultados dos estudos selecionados para a análise.....18

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

c.f.u.	Unidades formadoras de colônias
CO₂	Dióxido de Carbono
Compr.	Comprimento
DW	Água Destilada
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
E	Energia do Impulso
E. Faecalis	Enterococcus Faecalis
Er,Cr:YSGG	Érbio e Cromo: Ítrio Escandio Galio Garnet
Er:YAG	Érbio: Ítrio Alumínio Garnet
g/L	Gramas por Litro
Hz	Hertz
LAI	<i>Laser-Assisted Irrigation</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
mm	Milímetros
mL	Mililitros
MO	Microrganismos
mJ	Milijoules
N/A	Não Aplicável
NaOCl	Hipoclorito de Sódio
Nd:YAG	Neodímio: Ítrio Alumínio Garnet
NiTi	Níquel-titânio
nm	Nanômetros
Nº	Número
NS	Soro Fisiológico

PICO	População, Intervenção, Comparação, <i>Outcome</i>
PIPS	<i>Photon-Induced Photoacoustic Streaming</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses</i>
s	Segundos
SCR	Sistema dos canais radiculares
W	Watts
µl	Microlitros
µm	Micrômetros
µs	Microsegundos
%	Porcentagem
±	Mais ou Menos
∅	Diâmetro

1. INTRODUÇÃO

A infecção primária do canal radicular envolve o tecido pulpar inflamado de dentes não tratados (Ahmad & Chandra, 2023).

A polpa dentária, o tecido interno dos dentes, é um tecido conjuntivo fisiologicamente estéril. Qualquer invasão microbiana resulta em sinal patológico, principalmente em inflamação, levando à morte da polpa e à disseminação da inflamação/infecção para os tecidos perirradiculares (Maftah & Dhaimy, 2022).

O principal objetivo do tratamento endodôntico é:

- Prevenir e interromper doenças pulpares/perirradiculares, preservando as estruturas dos dentes (Hajjar et al., 2022);
- Obter um canal radicular limpo, livre de bactérias antes da obturação para permitir a cicatrização periapical (Stojicic et al., 2013).

O sucesso de qualquer terapia endodôntica depende da completa eliminação dos microrganismos (MO) do sistema de canais radiculares (SRC), uma preocupação central em endodontia (Bordea et al., 2020; A. S. Arneiro et al., 2014).

Isto é conseguido através de uma série de procedimentos:

- a. Remoção do tecido pulpar infetado e da predentina por instrumentação mecânica;
- b. Fixação do tecido pulpar e destruição química das bactérias através da colocação de medicamentos intracanais entre as consultas;
- c. Desinfecção das superfícies da parede dentinária e diluição dos produtos tóxicos bacterianos através de irrigação intracanal (Hardee et al., 1994).

A técnica químico-mecânica é o passo mais importante no controlo da infecção do canal radicular (A. S. Arneiro et al., 2014). Limas e alargadores endodônticos removem fisicamente os MO e o tecido pulpar infectado ou inflamado do SRC e moldam o canal para uma melhor e mais fácil obturação (Asnaashari et al., 2022). No entanto, após a preparação mecânica (Dragidella & Kameri, 2023), é formada uma *smear layer*, que cobre as paredes instrumentadas do canal radicular (Stabholz et al., 2008). Esta camada cobre e obscurece a parede do canal subjacente (Mader et al., 1984), tem uma espessura de cerca de 1 a 2 milímetros (mm) e uma camada mais profunda que se encontra nos túbulos dentinários até uma profundidade de 40 mm (Stabholz et al., 2008).

Embora a composição exata desta camada não tenha sido determinada, acredita-se que consiste principalmente em partículas inorgânicas finas de tecido calcificado. No entanto, também pode conter material orgânico de tecido pulpar necrótico e/ou viável, processos odontoblásticos, bactérias e células sanguíneas. A *smear layer* não foi encontrada nas paredes do canal de canais radiculares que não foram instrumentados. Além disso, esta camada não foi encontrada em áreas de paredes de canais preparados que foram inadvertidamente deixadas sem instrumentação. Estes resultados sugerem fortemente que a *smear layer* resulta diretamente dos instrumentos utilizados para preparar a parede do canal (Mader et al., 1984).

Além da possibilidade de a própria *smear layer* estar infetada, ela também pode proteger as bactérias já presentes nos túbulos dentinários, impedindo a aplicação bem-sucedida de agentes de desinfecção intracanal (Stabholz et al., 2008).

Os componentes da *smear layer* são partículas muito pequenas com uma grande relação superfície-massa, tornando-as muito solúveis em ácidos. Devido a esta característica, ácidos têm sido usados para remover a *smear layer*. (McComb & Smith, 1975) foram os primeiros investigadores a demonstrar que o REDTA (uma marca comercial de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) pode remover a *smear layer*. (Goldman et al., 1982) demonstraram que, quando utilizado isoladamente, o REDTA removia a porção inorgânica e deixa uma camada orgânica intacta nos túbulos. Para remover esta camada orgânica, é necessário outro solvente. O hipoclorito de sódio (NaOCl) tem se mostrado muito eficaz para este fim. Quando usado sozinho, o NaOCl pode dissolver restos pulpares e predentina. No entanto, muitos estudos demonstraram sua ineficácia na remoção completa da *smear layer* quando usado isoladamente. Vários autores (Goldman et al., 1982), (Yamada et al., 1983) e (Craigbaumgartner & Mader, 1987) demonstraram que o uso alternado de EDTA e NaOCl é um método eficaz para a remoção da *smear layer* (Torabinejad et al., 2002).

O NaOCl é o *golden standard* da irrigação na terapia de canais radiculares, devido à sua capacidade de eliminar um amplo espectro de bactérias (Asnaashari et al., 2022). No entanto, continua a haver controvérsia sobre a concentração da solução que seria mais eficaz contra os MO e ainda segura para o paciente (Dewsnup et al., 2010).

A irrigação convencional consiste em irrigar os canais radiculares durante a limpeza e a moldagem com NaOCl, com uma concentração entre 0,5% e 5,25%, através de uma

seringa e agulha específica (Asnaashari et al., 2022). Estudos relataram que, apesar da instrumentação mecânica e da irrigação com irrigantes antimicrobianos, as bactérias cultiváveis persistem em cerca de 40-60% dos canais (Estrela et al., 2002).

A maioria dos estudos sobre endodontia refere uma taxa de sucesso global de 85% a 90%, sendo que a principal razão do insucesso consiste na persistência de alguns MO (Merigo et al., 2021). Os MO podem, de fato, colonizar espaços que não são acessíveis a instrumentos e soluções de irrigação (Perez et al., 1993). Vários MO podem invadir os túbulos dentinários radiculares, onde estão mais protegidos dos irrigantes e medicamentos intracanal. A dentina é considerada um tecido conjuntivo mineralizado que é poroso devido à presença dos túbulos dentinários (Du et al., 2014).

Na raiz, os túbulos dentinários estendem-se desde a junção polpa-predentina até à dentina intermédia, logo a seguir à junção cimento-dentina. Os túbulos dentinários na raiz seguem um curso relativamente reto entre a polpa e a periferia, em contraste com os contornos típicos em forma de S dos túbulos na coroa do dente. Eles variam em tamanho de aproximadamente 1 a 3 micrômetros (μm) de diâmetro (Torabinejad et al., 2002).

Embora o tratamento químico-mecânico seja eficaz na redução da carga bacteriana intracanal, as bactérias podem sobreviver e permanecer em partes inacessíveis do SRC (Bago Jurič et al., 2014). Alguns MO podem continuar a persistir nos canais ístmicos, laterais, terminais, ramificações e estruturas anatómicas (Suer et al., 2020). Os MO que são habitualmente isolados em canais radiculares infectados de terapia endodôntica falhada e naqueles com infecções persistentes são *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) e *Candida albicans* (Dragidella & Kamari, 2023).

E. faecalis é um coco anaeróbio facultativo gram-positivo (Cheng et al., 2012), que contribui para os insucessos endodônticos, alterando as respostas do hospedeiro, aderindo às células hospedeiras, expressando proteínas que lhe permitem competir com outras células bacterianas e suprimindo a atividade dos linfócitos (Estrela et al., 2002). *E. faecalis* é capaz de se adaptar às condições adversas encontradas no interior do canal, devido à sua capacidade de formar um biofilme. As propriedades biológicas do biofilme permitem-lhe aderir e colonizar o canal radicular, permitindo-lhe persistir em condições de privação de nutrientes e alcalinas. No entanto, o comportamento adaptativo da *E. faecalis* torna difícil a erradicação desta bactéria do canal radicular infetado (Suer et al., 2020).

Para erradicar esse MO resistente (Dumani et al., 2019), há uma atenção científica crescente para uma distribuição e agitação mais eficazes do irrigante. Uma das técnicas que foi recentemente introduzida como método para ativar os irrigantes é a irrigação ativada por *laser* (LAI) (Meire et al., 2014).

A palavra “*laser*” representa um acrônimo elegante de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação). Vários tipos de *laser*, Nd:YAG (Neodímio: Ítrio Alumínio Garnet), Er, Cr:YSGG (Érbio e Cromo: Ítrio Escandio Galio Garnet), Er YAG (Érbio: Ítrio Alumínio Garnet), CO₂ (Dióxido de carbono), foram disponibilizados aos dentistas para responder às suas necessidades de procedimentos de tratamento de tecidos duros e moles. A utilização de lasers em endodontia tem sido estudada desde o início da década de 1970, e os lasers têm sido mais amplamente utilizados desde a década de 1990 (Kumar et al., 2016).

As várias utilizações do *laser* no tratamento dos canais radiculares são as seguintes:

- Preparação da cavidade de acesso e alargamento do orifício do canal radicular;
- Preparação da parede do canal radicular;
- Limpeza do canal radicular e irrigação;
- Remoção de restos de polpa e detritos no forame apical;
- Esterilização ou desinfecção dos canais infectados;
- Obturação com guta-percha ou resina;
- Remoção de materiais de selamento temporário de cavidades, materiais de selamento de canais radiculares e instrumentos fraturados nos canais radiculares.

Os lasers Er,Cr:YSGG e Er:YAG podem ser utilizados para a preparação da cavidade de acesso, modelação e limpeza do canal radicular. Lasers como o Er,Cr:YSGG, Er:YAG e Nd:YAG são utilizados para a preparação da parede do canal radicular (Kumar et al., 2016).

Como a energia do *laser* tem a capacidade de penetrar no tecido dentinário, os lasers dentários podem aceder a áreas que não são acessíveis no SRC (Aydin et al., 2020), e devido à sua característica de comprimento de onda, são úteis para eliminar MO (Kumar et al., 2016).

O LAI cria cavitação e grandes bolhas de gás elípticas, que se expandem aumentando a pressão e elevando o líquido no canal. Quando há uma constrição rápida, a pressão

diminui e o líquido retorna ao canal para formar um efeito de cavitação secundário. Portanto, o *laser* funciona como uma espécie de bomba de líquido (Aydin et al., 2020).

Em primeiro lugar, as enormes alterações volumétricas das bolhas são acompanhadas por um movimento considerável do fluido no interior do canal.

Em segundo lugar, o colapso da bolha de cavitação - um processo violento - gera ondas de choque altamente localizadas e de grande amplitude e microjactos no fluido no ponto de colapso. Quando esse colapso ocorre próximo a uma superfície sólida, esses distúrbios intensos geram tensões superficiais altamente localizadas e transitórias.

Em terceiro lugar, ocorrem bolhas de cavitação secundárias mais pequenas que podem ser activadas por impulsos de *laser* subsequentes e resultar em fluxo acústico.

Estes três mecanismos podem resultar numa melhor remoção de detritos das regiões que permanecem intocadas pelos instrumentos endodônticos durante os procedimentos de moldagem (Meire et al., 2014).

A formação de bolhas de vapor induzidas pelo *laser* e a cavitação secundária dependem muito das características do *laser*, como o comprimento de onda, a densidade de energia, a largura do impulso e a forma do feixe, que podem ser controladas pela geometria da ponta do *laser*, para além da forma do canal radicular (Matsumoto et al., 2011).

A interação com as paredes do canal radicular baseia-se em:

1. Absorção na dentina, MO e/ou *smear layer* e
2. Efeitos térmicos, como a evaporação e contração da camada de *smear layer* e o aquecimento térmico da MO (De Moor et al., 2009).

Até agora, apenas os lasers de érbio foram estudados como ferramentas para ativar soluções de irrigação (Meire et al., 2014).

Os lasers de érbio têm um efeito nocivo limitado nos tecidos dentários, apesar da sua produção de calor, proporcionando um resultado satisfatório (Jadhao et al., 2023), produzindo danos térmicos mínimos na polpa e nos tecidos circundantes (Jahan et al., 2006).

Muitos estudos têm investigado a combinação de NaOCl em concentrações adequadas com a ativação por lasers de comprimentos de onda apropriados. No entanto, não há evidências conclusivas sobre a superioridade de uma abordagem sobre a outra (Jadhao et al., 2023).

O *laser* Er,Cr:YSGG é um tipo de *laser* com um comprimento de onda de 2780 nanômetros (nm), que é altamente absorvível pela água. Afirma-se que aumenta a desinfecção do SRC sem causar danos térmicos nos tecidos circundantes, devido à energia hidrocínética que utiliza (Aydin et al., 2020), promovendo a desinfecção dos canais dentários sem danos térmicos nos tecidos subjacentes (Ibrahim & Jawad, 2023).

O *laser* Er:YAG com comprimento de onda de 2940 nm, produz oscilação e lavagem que promovem um movimento molecular de alta energia. Isso pode facilitar a difusão do desinfetante nos túbulos dentinários do canal radicular, aprimorando sua capacidade de desinfecção (Yang & Chen, 2024).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

2.1.1. Fontes de pesquisa

Para realizar esta revisão integrativa foi conduzida uma pesquisa e análise bibliográfica nas bases de dados eletrônicas *Pubmed*, *Scopus* e *B-ON*. Além destas bases eletrônicas, a pesquisa também será realizada em livros e referências dos artigos incluídos.

2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão

Para pesquisar corretamente nas bases eletrônicas utilizar-se-ão as palavras-chaves ou *MeSh Terms* que foram combinadas entre si de diversas formas através dos operadores booleanos “OR” e “AND”, chegando à configuração seguinte:

(((((Enterococcus faecalis) AND (Laser-activated irrigation)) AND (LAI)) AND (Bactericidal Effect)) AND (Erbium laser)) OR (Er:YAG laser)) OR (Er,Cr:YSGG laser)) AND (Root Canal disinfection).

Os critérios de seleção dos artigos incluídos seguirão duas fases: a fase de rastreio e a fase de inclusão. Na fase de rastreio a seleção dos artigos resultantes da pesquisa efetuada, será feita com base no título e no resumo dos artigos. Na fase de inclusão a seleção será feita com base na leitura integral da publicação.

Fundamentada nas palavras-chave mencionadas, foi desenvolvida a problemática deste estudo através da estratégia de metodologia PICO e determinados critérios de inclusão e exclusão para selecionar os artigos que foram considerados como resultados deste estudo.

Assim, foram determinados como critérios de inclusão: (1) estudos *in vitro* ou estudos *ex vivos*, em dentes humanos extraídos com um único canal e uma única raiz.

Por outro lado, os critérios de exclusão foram os seguintes: (1) estudos em animais, (2) estudos em dentes com canais curvos, (3) estudos *in vivos*, (4) estudos em dentes decíduos, (5) estudos em implantes, (6) estudos em fatias de dentina, (7) estudos que não se enquadrem nos critérios de inclusão e que não respondam à questão da investigação.

A pergunta a que se pretendeu responder com esta revisão integrativa foi: “Os lasers Er:YAG e Er,Cr:YSGG, combinados com soluções de NaOCl a 2,5% ou 5,25%, são mais eficazes na eliminação do *E. faecalis* do que a desinfecção convencional com solução de NaOCl entre 2,5% e 5,25%?”

Para efetuar a comparação da eficácia do tratamento com Lasers Er:YAG e Er,Cr:YSGG em combinação com o NaOCl, versus o protocolo de desinfecção convencional, foram incluídos estudos de acordo com a estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação, Outcome):

- População (P): Dentes humanos permanentes infectados por *E. Faecalis*
- Intervenção (I): Tratamento recorrendo ao laser Er,Cr:YSGG ou Er:YAG em combinação com NaOCl
- Comparação (C): Protocolo de desinfecção convencional
- Outcome (O): Aumento da desinfecção, com redução ou eliminação do *E. Faecalis*.

2.2. Resultados

2.2.1. Seleção dos estudos

Como resultado da pesquisa foram encontrados 725 artigos, dos quais 252 foram encontrados nas bases de dados *Pubmed*, 196 artigos na *Science Direct*, 121 artigos na *B-ON* e 183 artigos em *Google Escolar*.

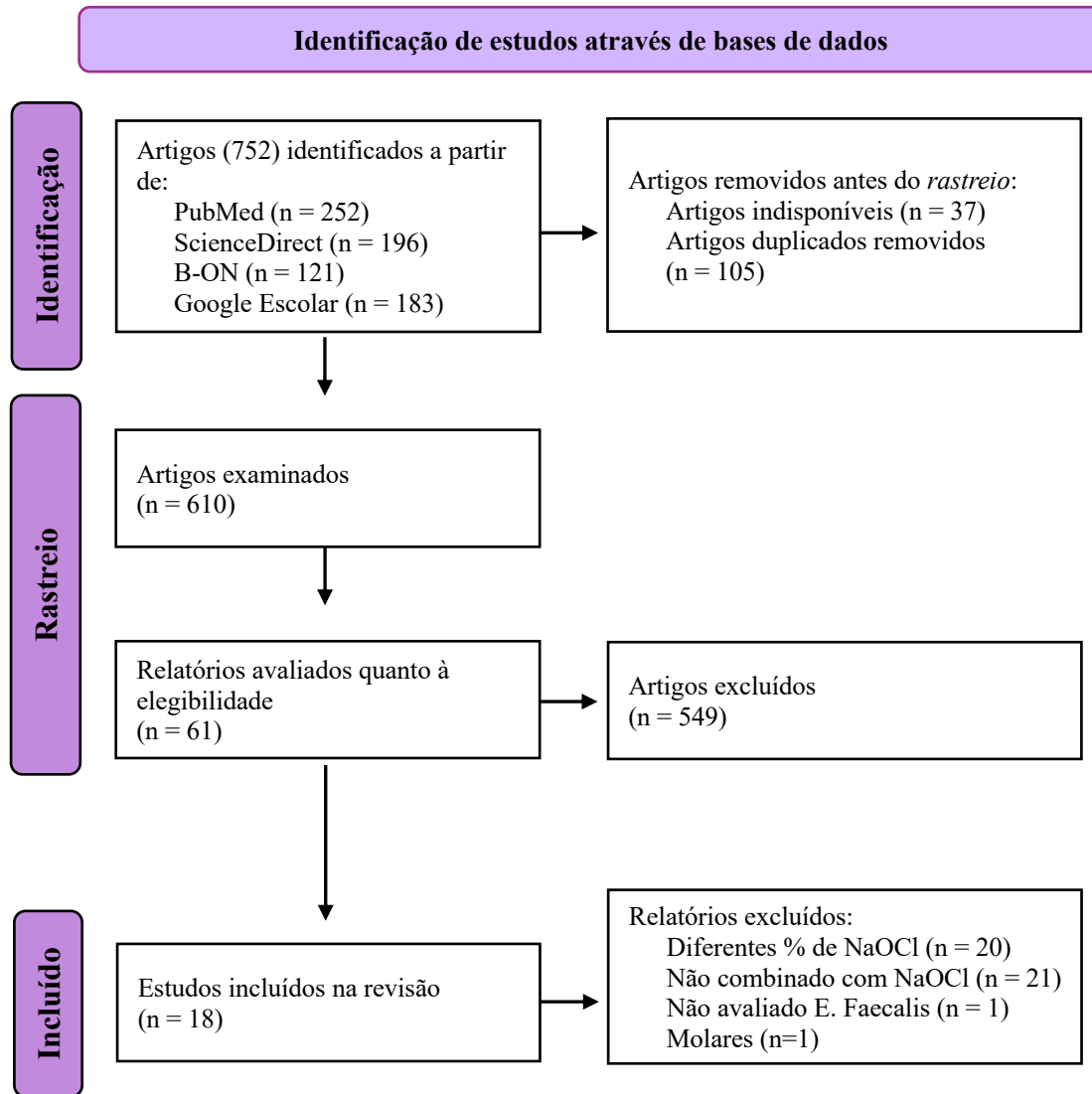
Após a exclusão dos estudos indisponíveis e dos duplicados, restou um total de 610 artigos. Posteriormente, mediante a análise dos títulos e resumos, e em conformidade com os objetivos estabelecidos para este trabalho e os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, foram selecionados um total de 18 artigos para leitura integral. Esses artigos foram considerados pertinentes e foram utilizados na presente revisão integrativa da literatura.

A inclusão e exclusão dos artigos é identificada na representação gráfica do diagrama PRISMA (Figura 1).

Os estudos selecionados e levados em consideração mais especificadamente foram os seguintes: (Aydin et al., 2020); (Bago Jurič et al., 2014); (Balić et al., 2016); (Cheng et al., 2012), (Cheng et al., 2016), (Cheng, Tian, et al., 2017; Cheng, Xiang, et al., 2017); (Dragidella & Kameri, 2023); (Dumani et al., 2019); (Elhady et al., 2024); (Ensafi et al., 2022); (Licata et al., 2015); (Merigo et al., 2021); (Otaify et al., 2020); (Shahi Ardakani et al., 2023); (Suer et al., 2020); (Wang et al., 2018); (Yang & Chen, 2024).

Após a análise das referências bibliográficas desses artigos, foram identificados mais 26 artigos para fornecer uma resposta mais adequada aos objetivos, bem como para a contextualização do tema abordado. Durante a seleção dessas referências, foram mantidos os critérios principais estabelecidos para a seleção dos estudos. Além disso, foram consultados websites de associações/instituições nacionais e internacionais associadas à regulamentação e/ou divulgação de informações sobre a área em estudo.

Figura 1. Representação gráfica do diagrama PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)



Legenda: *E. faecalis* (*Enterococcus Faecalis*), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), n (Número), % (Porcentagem).

2.2.2. Características dos estudos selecionados

Com exceção dos estudos conduzidos em *ex vivo* por Balić et al., (2016), Bago Jurič et al., (2014) e Merigo et al., (2021), os estudos selecionados mostram uma preponderância de pesquisa *in vitro*.

A maioria dos estudos utilizou dentes humanos de raiz única, frequentemente distinguidos por diferentes condições iniciais, como o tipo de raiz e a presença ou ausência de cáries.

A quantidade de dentes utilizados variou de 21 a 335 amostras, e quase todos os estudos utilizaram a remoção das coroas.

O comprimento dos dentes utilizados variou de 4 mm a 16 mm, com o diâmetro na área apical variando de 0,30 mm a 0,50 mm. Cheng, Tian, et al., (2017), examinaram diferentes tamanhos de diâmetro apical, tais como 0,15 mm, 0,20 mm, 0,25 mm, 0,30 mm e 0,40 mm, para avaliar a associação entre o diâmetro e a eficácia da desinfecção.

A preparação do canal antes das experiências foi realizada em todos os estudos; no entanto, foram utilizados diferentes sistemas de instrumentação. A irrigação com solução de NaOCl foi uma prática comum em todos os protocolos de desinfecção, enquanto a introdução de *E. faecalis* nos canais radiculares foi uma ação padrão para simular a infecção e avaliar a eficácia das técnicas de desinfecção dos canais radiculares. No entanto, as condições de infecção podem variar significativamente entre os estudos, pois alguns usam estirpes frescas e outros usam estirpes armazenadas.

Os pesquisadores dividiram as amostras em grupos distintos que receberam diferentes tratamentos. Esta revisão, no entanto, se concentra em estudos em que os lasers foram combinados com NaOCl e grupos de controle para comparar e avaliar qual dos dois métodos foi mais eficaz na desinfecção e eliminação de *E. faecalis*. Com exceção de Ensafi et al., (2022), que utilizaram o "não tratamento" como controle positivo, e de Suer et al., (2020), que utilizou NaOCl a 5%, todos os estudos empregaram a irrigação padrão com agulha e diferentes concentrações de NaOCl, incluindo 2,5% ou 5,25%, em volumes variáveis em mililitros, como grupo controle. Licata et al., (2015) também utilizaram EDTA a 17% em combinação com NaOCl a 5,25%.

Os pesquisadores também utilizaram diferentes "pontas", que permitem que o feixe de *laser* seja aplicado no interior do canal radicular do dente de forma controlada e direcionada. Estas têm diferentes tamanhos, formas e materiais. O tamanho e a forma da "ponta" afetam a precisão e a eficácia do tratamento com *laser*. A utilização de pontas

radiais e de fibra ótica foi demonstrada em vários estudos. Por um lado, Dumani et al., (2019), Bago Jurič et al., (2014) e Merigo et al., (2021) usaram pontas radiais, enquanto outros estudos, como Aydin et al., (2020) usaram pontas de fibra ótica.

Os lasers Er,Cr:YSGG e Er:YAG com comprimentos de onda de 2780 nm e 2940 nm foram os avaliados nesta revisão integrativa.

Estudos sobre *laser* Er,Cr: YSGG foram propostos por (Aydin et al., 2020); (Bago Jurič et al., 2014); (Dumani et al., 2019); (Licata et al., 2015); (Merigo et al., 2021); (Suer et al., 2020); enquanto aqueles sobre *laser* Er: YAG (Balić et al., 2016); (Cheng et al., 2012), (Cheng et al., 2016), (Cheng, Xiang, et al., 2017; Cheng, Tian, et al., 2017); (Dragidella & Kameri, 2023); (Elhady et al., 2024); (Ensafi et al., 2022); (Otaify et al., 2020); (Shahi Ardakani et al., 2023); (Yang & Chen, 2024). Apenas Wang et al., (2018), realizaram um estudo em que utilizaram ambos os lasers em dois grupos diferentes. Os parâmetros ajustáveis do *laser* variam: potência, frequência, energia do impulso, duração do impulso, tempo e níveis de ar e água. Cada estudo adotou configurações diferentes, criando uma vasta gama de abordagens experimentais.

A variedade de parâmetros enfatiza a importância de examinar minuciosamente os efeitos das variáveis em resultados experimentais e sua aplicabilidade clínica.

Em todos os estudos, com exceção do estudo de Dragidella & Kameri (2023), que utilizou 15 Watt (W), as potências variaram de 0,25 W a 1,25 W. Para comparar seus efeitos na desinfecção, vários estudos realizaram a mesma experiência com diferentes potências. Por exemplo, Cheng et al., (2016) examinaram 0,3 W, 0,5 W e 1 W.

As frequências variam de 5 Hertz (Hz) a 50 Hz, e alguns estudos comparam diferentes frequências para avaliar o impacto que elas têm na desinfecção. Por exemplo, Cheng et al., (2016) examinaram frequências de 15 Hz, 25 Hz e 50 Hz.

A energia do impulso varia de 20 milijoules (mJ) a 62,5 mJ, com exceção da pesquisa de Dragidella & Kameri (2023), que utilizaram 1500 mJ.

A duração do impulso varia de 10 microssegundos (μ s) a 140 μ s, enquanto o tempo total varia de 10 segundos (s) a 180 s.

Para avaliar seu impacto na desinfecção, vários estudos realizaram a mesma experiência com diferentes durações. Por exemplo, Cheng et al., (2016) testaram 20 s e 30 s, enquanto

Cheng, Xiang, et al., (2017) compararam 15 s e 30 s, e noutro estudo Cheng, Tian, et al., (2017) compararam 20 s, 40 s e 60 s.

Tabela 1. Características dos estudos selecionados para a análise

Estudo		Amostra			Laser	
Autor, Ano	Tipo	Nº	Medidas	Ponta	Tipo	Parâmetros
Aydin et al. 2020	<i>in vitro</i>	72	Compr.:15mm Ø: 0,30 mm	Ponta de fibra RFT2 (Waterlase) com uma secção de 4 mm	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Waterlase; Biolase, Irvine CA, USA)	Potência: 0,25 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: N/A Duração impulso: N/A Tempo: 30 s Níveis de Ar e Água: 10% ar, sem água
Bago Jurič et al. 2014	<i>ex vivo</i>	100	Compr.:12mm Ø: 0,30 mm	Ponta de Endolase Radial RFT2 (diâmetro 275 µm; compr. 25mm)	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Waterlase, Biolase, San Clemente, CA)	Potência: 1,25 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: 62,5mJ Duração impulso: N/A Tempo: 5 s Número sessões: 4 Níveis de Ar e Água: N/A
Balić et al. 2016	<i>ex vivo</i>	90	Compr.:14mm Ø: 0,30 mm	Ponta de fibra PIPS (diâmetro de 600µm)	Er:YAG 2940 nm (LightWalker Fotona, Ljubljana, Slovenia)	Potência: N/A Frequência: 15 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 20 s Número sessões: 3 Níveis de Ar e Água: N/A
Cheng et al. 2012	<i>in vitro</i>	220	Compr.:12mm Ø: 0,23 mm	Fibra ótica (diâmetro de 300µm)	Er:YAG 2940 nm (Fotona Lasers)	Potência: 0,3 W Frequência: 15 Hz Energia impulso: N/A Duração impulso: N/A Tempo: 20 s Níveis de Ar e Água: N/A
Cheng et al. 2016	<i>in vitro</i>	155	Compr.:12mm Ø: 0,21 mm	Ponta ótica PIPS (Fotona) (diâmetro de 300µm)	Er:YAG 2940 nm (Fotona)	Potência: 0,3W; 0,5W; 1W Frequência: 15Hz; 25Hz; 50Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 20 s; 30 s. Níveis de Ar e Água: N/A
Cheng, Xiang, et al. 2017	<i>in vitro</i>	115	Compr.:12mm Ø: 0,40 mm	Ponta ótica PIPS (Fotona) (diâmetro de 300µm)	Er:YAG 2940 nm (Fotona, Ljubljana, Slovenia)	Potência: 0,5 W Frequência: 25 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 30 s Níveis de Ar e Água: N/A

Estudo		Amostra			Laser	
Autor, Ano	Tipo	Nº	Medidas	Ponta	Tipo	Parâmetros
Cheng, Tian, et al. 2017	<i>in vitro</i>	335	Compr.: 12mm Ø: 0,15 mm, 0,20 mm, 0,25 mm, 0,30 mm, 0,40 mm	Ponta PIPS (Fotona) (diâmetro de 300µm)	Er:YAG 2940 nm	Potência: 0,3W; 0,5W; 1W Frequência: 15Hz; 25Hz; 50Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 20 s; 40 s; 60 s Níveis de Ar e Água: N/A
Dragidella e Kameri, 2023	<i>in vitro</i>	200	Compr.: 15mm Ø: 0,35 mm	Fibra ótica com ponta cônica (diâmetro de 200µm)	Er:YAG 2940 nm (Fotona, TwinLight, Ljubljana, Slovenia)	Potência: 15 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: 1500mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 30 s; 90 s Níveis de Ar e Água: N/A
Dumani et al. 2019	<i>in vitro</i>	105	Compr.: 14mm Ø: 0,40 mm	Ponta de disparo radial (diâmetro de 320µm)	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Waterlase MD; San Clement, CA, USA)	Potência: 1 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: 62,5 mJ Duração impulso: N/A Tempo: 15 s Número sessões: 4 Níveis de Ar e Água: 0% água e ar
Elhady et al., 2024	<i>in vitro</i>	45	Compr.: N/A Ø: 0,50 mm	Ponta de quartzo cilíndrica cônica PIPS® 400/14 (Fotona)	Er:YAG 2940 nm LightWalker (Fotona d.o.o.)	Potência: N/A Frequência: 15 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50µs Tempo: 30 s Número sessões: 3 Níveis de Ar e Água: OFF
Ensafi et al. 2022	<i>in vitro</i>	120	Compr.: N/A Ø: 0,40 mm	Sweeps60 (Fotona) Eslovénia.	Er:YAG 2940 nm (Light-Walker AT, Fotona, Ljubljana, Slovenia)	Potência: 0,3 W Frequência: 15 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 25 µs Tempo: 30 s Número sessões: 2 Níveis de Ar e Água: N/A
Licata et al. 2015	<i>in vitro</i>	52	Compr.: N/A Ø: 0,30 mm	Waterlase MD Endolase RFT (diâmetro de 200 µm; compr. de 25 mm).	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Biolase, Irvine, CA)	Potência: 0,25 W; 0,75 W Frequência: 10 Hz Energia impulso: 25 mJ; 75 mJ Duração impulso: 140 µs Tempo: 30 s; 60 s Níveis de Ar e Água: Água OFF

Comparação do Efeito Bactericida de Lasers combinados com irrigantes sobre o *Enterococcus faecalis* - Revisão integrativa

Estudo		Amostra			Laser	
Autor, Ano	Tipo	Nº	Medidas	Ponta	Tipo	Parâmetros
Merigo et al. 2021	<i>ex vivo</i>	73	Compr.:16mm Ø: N/A	Fibra ótica flexível de chumbo (diâmetro de 200 µm; compr. de 25 mm)	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Waterlase iPlus, Biolase Technology inc, Irvine, CA, USA)	Potência: 1,5 W Frequência: 15 Hz Energia impulso: 100 mJ Duração impulso: 60 µs Tempo: 60 s Níveis de Ar e Água: OFF
Otaify et al. 2020	<i>in vitro</i>	42	Compr.:15mm Ø: 0,40 mm	Ponta de quartzo cilíndrica cônica PIPS® 400/14 (Fotona)	Er:YAG 2940 nm LightWalker by Fotona (Fotona d.o.o., Ljubljana, Slovenia)	Potência: N/A Frequência: 15 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50 µs Tempo: 30 s Número sessões: 3 Níveis de Ar e Água: OFF
Shahi Ardakani et al., 2023	<i>in vitro</i>	48	Compr.:13mm Ø: 0,40 mm	Sweeps600 (Fotona, Ljubljana, Slovenia)	Er:YAG 2940 nm LightWalker (Fotona d.o.o., Ljubljana, Slovenia)	Potência: 0,3 W Frequência: 15 Hz Energia impulso: 20 mJ Duração impulso: 50µs Tempo: 30 s Número sessões: 3 Níveis de Ar e Água: N/A
Suer et al. 2020	<i>in vitro</i>	81	Compr.:12m Ø: 0,50 mm	Ponta de fibra	Er,Cr:YSGG 2780 nm	Potência: 0,75 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: 0,45 mJ Duração impulso: N/A Tempo: 10 s Número sessões: 4 Níveis de Ar e Água: OFF
Wang et al. 2018	<i>in vitro</i>	70	Compr.:4 mm Ø: 1,5 mm	Ponta de fibra cônica RFT3 com (diâmetro de 415 µm; compr. de 17 mm).	Er,Cr:YSGG 2780 nm (Waterlase; Biolase, San Clemente, CA)	Potência: 0,75 W Frequência: 20 Hz Energia impulso: 37,5 mJ Duração impulso: 60 µs Tempo: 60 s; 180 s Níveis de Ar e Água: 0.0% água, 5% ar
				Ponta de fibra PIPS (diâmetro de 600 µm; compr. de 9 mm)	Er:YAG 2940 nm (Fotona, Ljubljana, Slovenia)	Potência: 0,3W Frequência: 15Hz Energia impulso: 20mJ Duração impulso: 50µs Tempo: 20s Níveis de Ar e Água: N/A

Estudo		Amostra			Laser	
Autor, Ano	Tipo	Nº	Medidas	Ponta	Tipo	Parâmetros
Yang e Chen, 2024	<i>in vitro</i>	53	Compr.:9 mm Ø: 0,30 mm	N/A	Er:YAG 2940 nm (Litetouch, Israel)	Potência: 0,4 W Frequência: 10 Hz Energia impulso: 40 mJ Duração impulso: N/A Tempo: 60 s Níveis de Ar e Água: N/A

Legenda: Compr. (Comprimento), Er,Cr:YSGG (Érbio e Cromo: Ítrio Escandio Galio Garnet), Er:YAG (Érbio: Ítrio Alumínio Garnet), Hz (Hertz), mJ (Milijoules), mm (Milímetros), N/A (Não Aplicável), Nº (Número), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), nm (Nanômetros), PIPS (Photon-Induced Photoacoustic Streaming), s (Segundos), W (Watts), µm (Micrômetros), µs (Microssegundos), % (Porcentagem), Ø (Diâmetro).

Tabela 2. Resultados dos estudos selecionados para a análise

Autor, Ano	Grupo de controle	% NaOCl	Resultados	Conclusões
Aydin et al. 2020	Irrigação por agulha com 5 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (5 mL)	Redução bacteriana (%) NaOCl 2,5%: 99.7000 ± 0.39611 Er,Cr:YSGG + 2,5% NaOCl: 99.9658 ± 0.03075	Maior redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5%.
Bago Jurič et al. 2014	Irrigação por agulha com 5 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (5 mL)	Redução bacteriana (%) NaOCl 2,5%: 99.80 (97.78–99.90) Er,Cr:YSGG + 2,5% NaOCl: 99.99 (99.99–100)	Maior redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5%.
Balić et al. 2016	Irrigação por agulha com 2 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (2 mL)	Redução bacteriana (%) NaOCl 2,5%: 99.998 Er:YAG + 2,5% NaOCl: 99.966	Maior redução bacteriana de NaOCl 2,5%, do que Er:YAG + NaOCl 2,5%
Cheng et al. 2012	Irrigação por agulha com 5 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25%	NaOCl 5.25%: na superfície + 100 µm: 99.99 ± 0.00 200 µm: 99.98 ± 0.03 300 µm: 99.52 ± 0.09 Er:YAG/NaOCl/NS/DW: na superfície + 100 µm+ 200 µm: 100.00 ± 0.00 300 µm: 99.87 ± 0.04	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%.
Cheng et al. 2016	Irrigação por agulha com 5 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25%	Redução bacteriana (%) NaOCl 5.25%: na superfície + 100 µm: 99.98 ± 0.03 200 µm: 99.96 ± 0.04 300 µm: 99.37 ± 0.29 400 µm: 96.72 ± 0.35 500 µm: 91.99 ± 2.51 Er:YAG + NaOCl 5.25%: na superfície + 100 µm + 200 µm: 100.00 ± 0.00 300 µm: 99.83 ± 0.07 até 100.00 ± 0.00 400 µm: 98.81 ± 0.67 até 100.00 ± 0.00 500 µm: 96.44 ± 0.85 até 100.00 ± 0.00	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%.
Cheng, Xiang, et al. 2017	Irrigação por agulha com 5 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (5 mL)	Redução bacteriana (%) Er:YAG + NaOCl 5.25%: 98,8% NaOCl 5.25%: 94,0%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%.

Autor, Ano	Grupo de controlo	% NaOCl	Resultados	Conclusões
Cheng, Tian, et al. 2017	Irrigação por agulha com 5 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (5 mL)	Redução bacteriana (%) Er:YAG + NaOCl 5,25%: 15# - 1.0 W, 20 s : 99,2% 15# - 0.3 W, 60 s : 96,1% 40# - 0.3 W, 20 s : 99,9% NaOCl 5,25%: 15#: 78,9% 40#: 93,6%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%. Alcançando maior eficácia com aumento de diâmetro, tempo e potência.
Dragidella e Kameri, 2023	Irrigação por agulha com 3 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (3 mL)	Células vitais de <i>E. faecalis</i> (%) NaOCl: 40,76% Er:YAG+NaOCl 30 s: 18,84% Er:YAG+NaOCl 90 s: 9,64%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%. Alcançando maior eficácia com 90 s de exposição.
Dumani et al. 2019	Irrigação por agulha com 5 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (5 mL)	Redução bacteriana (%) NaOCl 2.5%: 99,68 (99.19 - 100) Er,Cr:YSGG + NaOCl 2.5%: 99,99 (99.99 - 100)	Maior redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5%.
Elhady et al., 2024	Irrigação por agulha com 10 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (10 mL)	Erradicação do biofilme (%) NaOCl 5,25%: 21.66±5.13% Er:YAG + NaOCl 5,25%: 57.34±3.70%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%: do que NaOCl 5,25%.
Ensafi et al. 2022	Controlo positivo: Nenhum tratamento	NaOCl 5,25%	Medidas de dispersão central para a contagem de colónias de <i>E. faecalis</i> . Controlo: 3,03 Er:YAG + NaOCl 5.25%: 0	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 5,25%, do que o grupo de controlo sem tratamento.
Licata et al. 2015	Irrigação por agulha com NaOCl 5,25% e EDTA 17%	NaOCl 5,25% and EDTA 17%	Culturas positivas (%) NaOCl 5.25%: 7,69 Er,Cr:YSGG + NaOCl 5.25% Ciclo 30 s (E = 75 mJ): 7,69 = 92,3% Ciclo 60 s (E = 75 mJ): 0 = 100% Ciclo 60 s (E = 25 mJ): 45,15	Maior redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 5,25%, do que NaOCl 5,25%. Alcançando maior eficácia com o aumento não só do tempo, mas também da energia utilizada.

Comparação do Efeito Bactericida de Lasers combinados com irrigantes sobre o *Enterococcus faecalis* - Revisão integrativa

Autor, Ano	Grupo de controle	% NaOCl	Resultados	Conclusões
Merigo et al. 2021	Irrigação por agulha com 4 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (4 mL)	Er,Cr:YSGG: Crescimento do biofilme no terço apical. NaOCl 2,5%: Biofilme presente; as bactérias não foram removidas e destruídas Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%: Redução do biofilme com presença de <i>smear layer</i> e aberturas dos túbulos dentinários.	Maior redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5% e Er,Cr:YSGG.
Otaify et al. 2020	Irrigação por agulha com 10 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5% (10 mL)	Erradicação do biofilme (%) NaOCl 2,5%: 39,3% Er:YAG + NaOCl 2,5%: 55,3%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5%.
Shahi Ardakani et al., 2023	Irrigação por agulha com 10 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (10 mL)	Redução bacteriana (c.f.u) (%) NaOCl 5,25%: 100% Er:YAG + NaOCl 5,25%: 100%	Não existem diferenças significativas entre NaOCl 5,25% e Er:YAG + NaOCl 5,25%
Suer et al. 2020	Irrigação por agulha com 2 mL de 5% NaOCl	NaOCl 2,5%	Eliminação de <i>E. Faecalis</i> (%) Er,Cr:YSGG laser: 50% NaOCl 5%: 100%. Er,Cr:YSGG laser + NaOCl 2,5%: 100%	A redução bacteriana de Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5%, e do NaOCl 5%, foi a mesma, mas maior do que apenas Er,Cr:YSGG.
Wang et al. 2018	Irrigação por agulha com 1 mL de 5,25% NaOCl	NaOCl 5,25% (5 mL)	Redução bacteriana (%) NaOCl 5,25%: 36-51% Er,Cr:YSGG + NaOCl 5,25%: 73-85% Er:YAG + NaOCl 5,25%: 76-89%	A maior redução bacteriana foi atingida por Er:YAG + NaOCl 5,25%, seguido por Er,Cr:YSGG + NaOCl 5,25%, e por fim NaOCl 5,25%.
Yang e Chen, 2024	Irrigação por agulha com 5 mL de 2,5% NaOCl	NaOCl 2,5%	Redução bacteriana (%) NaOCl 2,5%: 98,63% Er:YAG + NaOCl 2,5%: 99,99%	Maior redução bacteriana de Er:YAG + NaOCl 2,5%, do que NaOCl 2,5%.

Legenda: c.f.u. (Unidades formadoras de colônias), E (Energia do Impulso), *E. faecalis* (*Enterococcus Faecalis*), EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), Er,Cr:YSGG (Érbio e Cromo: Ítrio Escandio Galio Garnet), Er:YAG (Érbio: Ítrio Alumínio Garnet), mJ (Milijoules), mL (Mililitros), N/A (Não Aplicável), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), s (Segundos), W (Watts), µm (Micrômetros), % (Porcentagem), ± (Mais ou Menos).

2.2.3. Resultados dos estudos selecionados

Aydin et al. (2020), realizaram um estudo *in vitro* com 72 incisivos humanos maduros, todos com raiz única, canal único e ápices fechados, extraídos devido a problemas periodontais.

Neste estudo, as coroas foram removidas, e os dentes tinham 15mm de comprimento, com um diâmetro de trabalho de 0,30 mm na zona apical. Previamente ao estudo, os canais foram preparados com ProTaper Universal e desinfetados com NaOCl, seguido por irrigação final com EDTA e NaOCl. *E. faecalis* foi introduzido nos canais e a cultura bacteriana foi obtida por meio de cultura.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo I: NaOCl 2,5% (5 mililitros (mL))
- Grupo III: Er,Cr:YSGG + NaOCl 2,5% (5 mL)

Os resultados revelaram altas taxas de redução microbiana, comparáveis às alcançadas com métodos de irrigação convencionais, sugerindo a eficácia potencial do LAI na desinfecção dos canais radiculares. No Grupo III, uma notável taxa de redução microbiana de 99,9658% foi alcançada, comparada aos 99,7000% do Grupo I.

No entanto, apesar dessas taxas elevadas, não houve uma vantagem significativa.

Bago Jurič et al. (2014), conduziram um estudo *ex vivo* envolvendo 100 incisivos mandibulares e segundos pré-molares superiores humanos.

Todos os dentes tinham raízes completamente desenvolvidas e estavam livres de cáries radiculares ou tratamento endodôntico prévio. Após a remoção das coroas, os dentes foram preparados, deixando um comprimento de 12 mm e um diâmetro de trabalho de 0,30 mm na zona apical. Os canais foram instrumentados com o sistema rotativo ProTaper Universal até F3 e irrigados com NaOCl a 2,5%. O *E. faecalis* foi inoculado e incubado por 10 dias.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo I: Er,Cr:YSGG + 5 mL de NaOCl 2,5%
- Grupo IV: 5mL de NaOCl 2,5% (60 s)

Os resultados mostraram uma redução bacteriana de 99,80% (97,78–99,90) com NaOCl a 2,5%, enquanto o grupo tratado com Er,Cr:YSGG + NaOCl apresentou uma redução bacteriana de 99,99% (99,99–100).

Ambos os protocolos demonstraram uma redução significativa das unidades formadoras de colônias (c.f.u.) de *E. faecalis*, indicando eficácia na redução microbiana.

Balić et al. (2016), conduziram um estudo *ex vivo* utilizando 90 dentes humanos, incluindo mandibulares incisivos e pré-molares maxilares de adultos, todos com raízes completamente desenvolvidas e sem cáries ou tratamentos endodônticos prévios.

Os dentes foram preparados com a remoção das coroas, mantendo um comprimento de 14 mm a partir do forame apical, e foram instrumentados até atingir um diâmetro de 0,30 mm. A instrumentação foi realizada com instrumentos ProTaper Next até o arquivo apical X3, com irrigação de NaOCl a 2,5% entre os instrumentos. A irrigação final pré-experimental consistiu em 1 mL de NaOCl a 2,5% e 1 mL de solução salina. A suspensão de *E. faecalis* foi preparada com *E. faecalis* em solução salina estéril e aplicada nos canais radiculares.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 1A: Er:YAG + 2 mL de NaOCl 2,5%
- Grupo 3A: 2 mL de NaOCl 2,5%

Os resultados indicaram uma redução bacteriana de 99,998% no grupo 3A enquanto o grupo 1A apresentou uma redução bacteriana de 99,966%.

No entanto, não foram observadas diferenças discerníveis entre os vários métodos de ativação testados.

Apesar da promessa inicial do PIPS (*Photon-induced Photoacoustic Streaming*) combinado com NaOCl, não se observou uma melhoria significativa em relação aos métodos de irrigação convencionais.

No estudo *in vitro* de Cheng et al. (2012), foram utilizados 220 dentes humanos recém-extraídos, todos monorradiculares, com comprimento constante de 12 mm e um diâmetro de trabalho de 0,23 mm na zona apical.

Antes da experiência, os canais foram instrumentados com uma broca redonda ISO 023 e irrigados com NaOCl a 0,5%, seguido de irrigação final com NaOCl a 5,25% e EDTA a 17%. A inoculação de *E. faecalis* foi realizada em cada dente.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 2: Er:YAG + NaOCl 5,25% + NS (soro fisiológico) + DW (água destilada)
- Grupo 6: 5 mL de NaOCl a 5,25% (60 s)

Os resultados mostraram uma redução bacteriana de 99,99% \pm 0,00 na superfície e a 100 μ m de profundidade para o grupo 6 enquanto o grupo 2 alcançou uma redução de 100,00% \pm 0,00 na mesma profundidade.

Isso sugere que o protocolo Er:YAG/NaOCl/NS/DW exibiu efeitos bactericidas eficazes nos canais radiculares infectados experimentalmente.

Em um outro estudo *in vitro* conduzido por Cheng et al. (2016), foram utilizados 155 dentes humanos monorradiculares extraídos para tratamento ortodôntico, todos sem cáries, restaurações coronárias ou tratamentos endodônticos prévios.

Antes da experiência, as coroas foram removidas até alcançar um comprimento de 12 mm, e os canais foram instrumentados com uma broca redonda ISO 021, sendo irrigados com NaOCl a 5 gramas por litro (g/L). A irrigação final foi realizada com NaOCl a 52,5 g/L e EDTA a 170 g/L por 4 minutos, seguida por uma solução de tiosulfato de sódio. Os dentes foram inoculados com *E. faecalis* cultivados a partir de uma amostra congelada e adicionados aos espécimes por 4 semanas.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- 5 mL de NaOCl 5,25%
- Er:YAG + NaOCl 5,25%

Os resultados revelaram que a irradiação com 0,3 W por 20 e 30 s demonstrou alguma atividade bactericida, porém menos eficaz em comparação com potências mais elevadas, como 0,5 W por 20 s e 1,0 W por 30 s. A irradiação com 1,0 W por 20 e 30 s também resultou em uma redução significativa nas contagens bacterianas, mas não foi capaz de eliminar completamente o *E. faecalis* a uma profundidade de 500 μ m nos túbulos dentinários, ao contrário da irradiação com 0,5 W por 20 s.

Os resultados mais satisfatórios foram observados com a irradiação a 0,5 W por 30 s, alcançando a completa eliminação das bactérias em profundidades significativas nos túbulos dentinários.

Em um estudo conduzido por Cheng, Tian, et al. (2017), foram utilizados 335 dentes humanos para criar um modelo *in vitro*.

Os canais radiculares, com 12 mm de comprimento, foram preparados com diferentes diâmetros (15#/0.04, 20#/0.04, 25#/0.04, 30#/0.04, e 40#/0.04) e instrumentados com limas rotativas de liga de níquel-titânio (NiTi) K3. Em seguida, foram tratados com solução de NaOCl a 5,25% e irrigados com EDTA a 17%. *E. faecalis* foi inoculado nos canais radiculares.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo C: NaOCl: 15#/0,04 a 40#/0,04, tratados com NaOCl a 5,25% (5 mL, 60 s).
- Grupo D: Er:YAG + NaOCl: 15#/0,04 a 40#/0,04, tratados com 5 mL de NaOCl a 5,25% e irradiados com *laser* Er:YAG a 0,3 W durante 20 s.
- Grupo E: Er:YAG + NaOCl:15#/0,04, tratados com 5 mL de NaOCl a 5,25%, irradiados com *laser* Er:YAG a 0,3 W por 40 e 60 s, ou a 0,5 e 1,0 W por 20 s.

Os resultados indicaram que o grupo E obteve uma maior redução bacteriana com potências mais altas e tempos de irradiação mais longos. Em ambos os grupos D e E, a redução bacteriana aumentou com a largura da conicidade apical. O tratamento mais eficaz foi observado em 15#/0,04 + Er:YAG + NaOCl durante 40 s a 0,3 W, destacando uma abordagem conservadora que potencialmente reduz o risco de danos térmicos.

Em resumo, o uso combinado de *laser* Er:YAG ativado com NaOCl mostrou alta eficácia na desinfecção endodôntica, oferecendo uma abordagem menos invasiva em comparação com o uso exclusivo de NaOCl, representando uma técnica promissora para a endodontia minimamente invasiva.

Cheng, Xiang, et al. (2017), conduziram um estudo *in vitro*, utilizando 115 dentes humanos permanentes com canais radiculares retos e ápice radicular maduro.

Após a remoção das coroas, os dentes tinham uma extensão de 12 mm. O diâmetro trabalhado do dente na zona apical era de 0,40 mm. Os canais foram instrumentados até uma lima rotatória de NiTi K3 40#/04 e desinfetados com NaOCl (5,25%) e EDTA (17%). *E. faecalis* foi introduzido nos canais após a obtenção de isolados de pacientes que necessitavam de retratamento endodôntico. Os dentes foram então incubados em condições anaeróbias.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo C: NaOCl 5,25% (5 mL, 60 s).
- Grupo G: Er:YAG + NaOCl 5,25% (5 mL, 30 s).

Os resultados mostraram que o grupo G foi mais eficaz na redução da carga bacteriana e formação de biofilme, em comparação com outros grupos.

A redução bacteriana foi de 98,8% para o grupo Er:YAG + NaOCl e de 94,0% para o grupo NaOCl.

Dragidella e Kameri (2023), realizaram um estudo *in vitro* utilizando 200 dentes humanos monorradiculares extraídos, eles observaram que os tratamentos combinados com *laser* e soluções de irrigação foram mais eficazes do que os tratamentos individuais na remoção de MO dos canais radiculares.

Os dentes, com coroas removidas, tinham uma extensão de 15 mm e um diâmetro trabalhado na zona apical de #35. Foram instrumentados previamente com limas manuais e lima rotativa ProTaper F3, e desinfetados durante a instrumentação com NaOCl, sendo finalizados com irrigação de EDTA a 17%. A inoculação de *E. faecalis* foi realizada a partir de colônias.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 2: 3 mL de NaOCl 5,25%
- Grupo 4: Er:YAG + 3 mL de NaOCl 5,25% (30 s e 90 s)

Os resultados mostraram uma redução significativa na percentagem de células vitais de *E. faecalis* nos grupos tratados com Er:YAG + NaOCl em comparação com NaOCl isolado. A maior eficácia foi alcançada com 90 s de exposição, resultando em uma redução bacteriana ainda mais pronunciada.

O estudo ressaltou a importância de mais pesquisas clínicas para validar esses resultados e otimizar os parâmetros de tratamento com *laser* para uma desinfecção eficaz do canal radicular.

Dumani et al. (2019), conduziram um estudo *in vitro* utilizando 105 pré-molares unilaterais extraídos com ápices fechados, preparados com um comprimento de 14mm. Os canais foram instrumentados previamente com o sistema WaveOne #40 file até o WL, sendo irrigados com NaOCl 2,5%. A inserção de *E. faecalis* foi realizada utilizando uma suspensão de 20 microlitro (µl) de *E. faecalis*.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- G2: 5 mL de NaOCl a 2,5%
- G5: Er,Cr:YSGG + 5 mL de NaOCl a 2,5%

Os resultados do estudo revelaram que a irrigação ativada com o *laser* Er,Cr:YSGG apresentou uma atividade antibacteriana substancial, ultrapassando mesmo a dos métodos de irrigação convencionais.

No entanto, o estudo ressalta a importância de considerar vários fatores que podem influenciar a eficácia do *laser*, como a potência de saída, a duração da irradiação e o tipo de solução de irrigação utilizada.

Esses fatores desempenham um papel crucial na determinação da eficácia da LAI na desinfecção do canal radicular.

El Hady et al. (2024), efectuaram um estudo *in vitro* em 45 dentes humanos com canais anteriores maxilares monorradiculares. Os canais foram preparados com Protaper Next, resultando em um diâmetro final de #50/6, e irrigados com 10 mL de NaOCl a 5,25%. A suspensão de *E. faecalis* (ATCC 29212) foi inoculada nos canais radiculares e incubada durante três semanas a 37°C. Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo PIPS: Er:YAG + 10 mL de NaOCl 5,25%
- Grupo de irrigação com seringa convencional: 10 mL de NaOCl a 5,25%

Os resultados mostraram que o grupo PIPS levou a 57,34±3,70% de remoção do biofilme, enquanto o grupo CSI levou a 21,66±5,13% de eliminação do biofilme. A diferença entre os grupos foi estatisticamente significativa ($p < 0,001$), mostrando que a ativação com PIPS é significativamente mais eficaz do que com a irrigação com seringa convencional.

Ensafi et al. (2022), realizaram um estudo *in vitro* utilizando um total de 120 dentes humanos extraídos, monorradiculares e maduros. Os dentes apresentavam morfologia monorradicular e ápices maturados.

As coroas dos dentes foram removidas no junção cimento-esmalte. Os canais foram instrumentados com limas BioRaCe até #40 antes da experiência, e durante a instrumentação, foram submetidos à irrigação com NaOCl e ultrassom. Antes da experiência, os canais foram irrigados com EDTA, NaOCl e água destilada. Para a inoculação de *E. faecalis*, foi utilizado o cepa IBRC-M 11130.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- SWEEPS (S): Er:YAG + 5,25%, NaOCl
- Controle positivo: Sem nenhum tratamento

Os resultados mostraram uma significativa redução na contagem de colônias de *E. faecalis* no grupo tratado com Er:YAG + NaOCl 5,25%, em comparação com o grupo controle sem tratamento, evidenciando a eficácia do tratamento proposto.

Licata et al. (2015), conduziram um estudo *in vitro* utilizando 52 dentes humanos obtidos de pacientes com cáries dentárias ou doença periodontal grave, todos com uma única raiz e canal.

Durante a experiência, as coroas dos dentes foram removidas e os canais foram preparados utilizando limas rotativas Ni-Ti até uma preparação apical final de 30.06 com sistema Mtwo. Após cada etapa de instrumentação, os canais foram irrigados continuamente com NaOCl 5,25% e EDTA 17%, visando a desinfecção completa e a remoção de detritos bacterianos e resíduos de tecido. Em seguida, *E. faecalis* foi introduzido nos canais radiculares como uma cepa bacteriana padrão para simular a condição de infecção.

Os grupos experimentais abordados no estudo foram os seguintes:

- Grupo 1: Er,Cr:YSGG + EDTA 17 % e NaOCl 5,25% (75 mJ e 30 s);
- Grupo 2: Er,Cr:YSGG + EDTA 17 % e NaOCl 5,25% (75 mJ e 60 s);
- Grupo 3: Er,Cr:YSGG + EDTA 17 % e NaOCl 5,25% (25 mJ e 60 s);
- Grupo 4: EDTA 17 % e NaOCl 5,25 % como grupo de controle.

Os resultados mostraram que o Grupo 2, apresentou a maior eficácia, alcançando a erradicação completa de *E. faecalis*. O Grupo 3, com energia reduzida, e o grupo de controle, apresentaram reduções moderadas semelhantes às do Grupo 2. Houve uma tendência geral de maior eficácia com tempos de irradiação mais longos e definições de energia mais elevadas, sendo o Grupo 2 o mais eficaz.

Esses resultados sugerem que tempos de irradiação mais longos e definições de energia mais elevadas estão correlacionados com uma maior eficácia bactericida na LAI de Er,Cr:YSGG.

No estudo *ex vivo* conduzido por Merigo et al. (2021), foram utilizados 73 dentes humanos de raiz única para investigar a eficácia da descontaminação endodôntica utilizando *laser*.

As coroas dos dentes foram removidas utilizando um disco diamantado alcançando um comprimento do canal de 15/16 mm. A instrumentação dos canais foi realizada utilizando

limas reciprocantes WaveOne Primacy, acompanhada de irrigação com solução de NaOCl a 2,5%.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 4: Er,Cr:YSGG.
- Grupo 5: Er,Cr:YSGG + 4 mL de NaOCl a 2,5%.
- Grupo 6: 4 mL de NaOCl a 2,5% (60 s).

A observação dos espécimes do Grupo 4 revelou crescimento do biofilme no terço apical. O tratamento do Grupo 5 resultou na fusão e fissuras da dentina, remoção parcial de detritos e *smear layer*, porém sem biofilme visível. Enquanto isso, o Grupo 6, de controle, exibiu presença de biofilme nas paredes do canal radicular.

O estudo concluiu que o *laser* Er,Cr:YSGG, associado à irrigação contínua com NaOCl, é promissor para a descontaminação endodôntica.

Esses resultados indicam que o uso do *laser* Er,Cr:YSGG em combinação com a irrigação contínua de NaOCl demonstra promessa na redução significativa do biofilme. No entanto, ressalta-se que o efeito do *laser* sem irrigação contínua mostrou-se menos eficaz na remoção do biofilme anaeróbico. São necessárias mais pesquisas para confirmar tais resultados e avaliar detalhadamente a eficácia do tratamento com *laser* na descontaminação endodôntica.

No estudo *in vitro* realizado por Otaify et al. (2020), foram utilizados 42 dentes pré-molares de raiz única, com coroas removidas para manter a uniformidade do comprimento radicular em 15 mm e um diâmetro apical de 0,40 mm.

A instrumentação dos canais radiculares foi realizada com o sistema rotatório Protaper Next, utilizando as limas X1 (#17/4), X2 (#25/6), X3 (#30/7) e X4 (#40/6). Durante o pré-tratamento, os canais foram irrigados com 10 mL de NaOCl 2,5%, seguidos de 2,5 mL entre cada instrumento sucessivo e 3 mL de EDTA 17% para remover a *smear layer*. Além disso, os canais radiculares foram infectados com *E. faecalis* (ATCC 29212) para simular condições de infecção bacteriana comuns na prática clínica endodôntica, sendo crucial para avaliar a eficácia dos diferentes protocolos de desinfecção.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo I: 10 mL de NaOCl 2,5%
- Grupo III: Er:YAG + 10 mL de NaOCl 2,5%

Os resultados do estudo demonstraram que a ativação do *laser* Er:YAG resultou em uma maior erradicação do biofilme e remoção da *smear layer*, especialmente nos terços coronal e médio dos canais radiculares, sugerindo sua capacidade de promover superfícies mais limpas do canal radicular, fundamentais para um tratamento bem-sucedido. Além disso, foi observado que a ativação do *laser* Er:YAG provocou alterações mais pronunciadas nos túbulos dentinários em comparação com a irrigação convencional, indicando modificações substanciais na morfologia da superfície da dentina nos canais radiculares. Apesar disso, a ativação do *laser* Er:YAG não conseguiu erradicar completamente o biofilme de *E. faecalis*.

No entanto, quando combinada com a técnica PIPS, mostrou-se promissora, melhorando a erradicação do biofilme e a remoção da *smear layer*.

Shahi Ardakani et al. (2023), efectuaram um estudo *in vitro* em 48 dentes humanos monorradiculares. As coroas dos dentes foram removidas, deixando 13 mm de comprimento da raiz. Os canais foram instrumentados com o sistema de lima rotativa BioRace, resultando em um diâmetro final de #40/0.04, e irrigados com NaOCl a 5,25%, EDTA e solução salina. O *E. faecalis* (ATCC 29212) foi utilizado para infectar os canais radiculares.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 2: 10 mL de NaOCl 5,25%
- Grupo 5: Er:YAG + 10 mL de NaOCl 5,25%

Os resultados mostraram que tanto o Grupo 2 quanto o Grupo 5 apresentaram uma redução de 100% das bactérias. Não há diferenças significativas entre o Grupo 2 e o Grupo 5 em termos de redução das CFU de *E. faecalis*, pois ambos os tratamentos levaram à completa eliminação das bactérias nos canais radiculares.

Suer et al. (2020), conduziram uma pesquisa *in vitro* utilizando 81 dentes humanos pré-molares mandibulares.

Antes da experiência, os canais radiculares foram instrumentados utilizando a técnica step-back com limas Ni-Ti até #50 e brocas Gates Glidden (#2, #3 e #4). Não houve desinfecção durante a instrumentação. O comprimento dos dentes era de 12 mm, com um diâmetro apical de 0,50 mm.

Para introduzir *E. faecalis* nos canais radiculares, uma suspensão do microrganismo foi obtida a partir de uma cultura bacteriana padrão de *E. faecalis* (ATCC 29212) e inserida nos dentes.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 1: Er,Cr:YSGG
- Grupo 2: Er,Cr:YSGG + 2,5% NaOCl.
- Grupo 3: 2 mL de NaOCl a 5% (60 s)

Os resultados mostraram que o Grupo 1 apresentou uma redução de 50% em *E. faecalis*, enquanto o Grupo 2 e o Grupo 3 alcançaram eliminação completa de *E. faecalis*.

Apesar destes resultados promissores, o estudo enfatiza a necessidade de mais investigação para avaliar as aplicações clínicas do tratamento com *laser* em endodontia. Embora os lasers de menor comprimento de onda mostrem potencial para ajudar na desinfecção endodôntica e potencialmente melhorar os resultados do tratamento, são necessários estudos clínicos mais extensos para estabelecer a sua eficácia e segurança em ambientes reais.

No estudo *in vitro* realizado por Wang et al. (2018), foram utilizados um total de 70 dentes de raiz única.

Os blocos de dentina foram preparados com dimensões uniformes de 4mm de altura, 4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, com os canais radiculares alargados para um diâmetro de 1,5 mm. Antes da experiência, os canais foram instrumentados com uma fresa Gates Glidden #6 a 350 rotações por minuto, com resfriamento de água.

O tratamento pré-experimental dos canais foi realizado utilizando-se NaOCl 5,25% e EDTA 17% por 4 minutos cada. A irrigação final foi realizada com água estéril. Para a contaminação bacteriana, *E. faecalis* foi introduzido nos túbulos dentinários por centrifugação e incubado anaerobicamente por 3 semanas.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo A: 1 mL de NaOCl 5,25% (1 e 3 minutos)
- Grupo E: Er,Cr:YSGG + 5 mL de NaOCl 5,25% (1 e 3 minutos)
- Grupo F: Er:YAG + 5 mL de NaOCl 5,25% (1 e 3 minutos)

Os resultados mostraram que tanto o *laser* Er:YAG quanto o *laser* Er,Cr:YSGG, quando combinados com NaOCl, apresentaram uma eficácia bactericida superior contra biofilmes

de *E. faecalis* nos túbulos dentinários, em comparação com outros protocolos testados. Em particular, a redução do número de células bacterianas mortas variou entre 73% e 85% para o grupo tratado com *laser* Er,Cr:YSGG + NaOCl e entre 76% e 89% para o grupo tratado com *laser* Er:YAG + NaOCl. Em contraste, o NaOCl 5,25% sozinho apresentou uma redução de apenas 36% a 51% no número de células bacterianas mortas.

Yang e Chen (2024), conduziram um estudo *in vitro* utilizando 53 dentes de única raiz. Os dentes utilizados neste estudo foram todos monorradiculares, com comprimento padronizado de 9mm e diâmetro apical de 0,30 mm. A instrumentação dos canais foi realizada com instrumentos rotativos ProTaper, e a desinfecção foi feita com NaOCl 2,5% e EDTA 17%. A irrigação final foi realizada com solução salina.

Para a inserção de *E. faecalis*, foram cultivadas *in vitro* em *Brian Heart Infusion* por 3 semanas para observação da formação de biofilme.

Vários grupos experimentais foram estabelecidos, sendo os avaliados nesta revisão:

- Grupo 2: 5 mL de NaOCl a 2,5% (2 minutos)
- Grupo 3: Er:YAG + NaOCl a 2,5% (1 minuto)

Os resultados mostraram uma redução significativa das colônias bacterianas, com uma redução de 98,63% no grupo tratado apenas com NaOCl e uma redução de 99,99% no grupo tratado com Er:YAG + NaOCl.

2.3. Discussão

A revisão dos artigos analisados oferece uma visão abrangente das diferentes metodologias e variações nos estudos sobre a eficácia da utilização dos lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG em conjunto com a solução de NaOCl para a desinfecção endodôntica.

Os estudos demonstraram que a combinação desses lasers com irrigação contínua de NaOCl pode efetivamente reduzir a quantidade de biofilme bacteriano e erradicar o *E. faecalis* dos canais radiculares. Estas são duas características essenciais, necessárias para o sucesso do tratamento endodôntico e para a erradicação da *smear layer*.

Embora a maioria dos estudos incluídos nesta revisão tenha adotado um desenho experimental *in vitro*, com algumas exceções utilizando amostras *ex vivo*, é fundamental reconhecer a necessidade de padronização das condições experimentais para uma avaliação precisa dos tratamentos propostos. No entanto, é importante notar que tais resultados podem não refletir completamente os desafios encontrados na prática clínica, ressaltando a necessidade de mais estudos clínicos randomizados controlados para validar esses achados. Nos estudos *ex vivo*, os tecidos vitais foram preservados, mantendo características fisiológicas e estruturais análogas às do corpo humano. Por outro lado, nos estudos *in vitro*, os experimentos foram realizados em um ambiente controlado, desprovido de componentes vivos. As amostras foram isoladas dos organismos vivos e manipuladas em condições controladas de laboratório. Esse tipo de estudo é conduzido em um ambiente laboratorial, onde as amostras são processadas e manipuladas sem manter as características "vivas" do estado *ex vivo*.

A utilização de lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG em conjunto com NaOCl demonstrou uma eficácia superior na redução da carga bacteriana quando comparada com a utilização de NaOCl isoladamente, mesmo considerando as diferentes metodologias utilizadas nos estudos.

A influência da potência do *laser* e do tempo de irradiação nos resultados do tratamento sublinha a necessidade de adaptar os procedimentos para obter resultados terapêuticos superiores. Os estudos demonstraram consistentemente que esses lasers possuem a capacidade de diminuir as populações de *E. faecalis* quando combinados com a irrigação com NaOCl, resultando em uma redução significativa da quantidade de colônias bacterianas.

Várias investigações, como a realizada por Aydin et al. (2020), demonstraram que a combinação de lasers Er,Cr:YSGG com NaOCl a 2,5% conduz a uma diminuição muito maior das bactérias em comparação com a utilização de NaOCl isoladamente. Este padrão foi confirmado por outras pesquisas, como as investigações conduzidas por Bago Jurič et al. (2014) e Dumani et al. (2019), ambos os quais usaram lasers Er, Cr: YSGG.

Além disso, os estudos realizados por Merigo et al. (2021) e Suer et al. (2020) não apenas compararam o sistema LAI e NaOCl, mas também investigaram o uso exclusivo do *laser*. Merigo et al. (2021) constataram uma maior redução bacteriana com Er,Cr:YSGG + NaOCl a 2,5% em comparação com o uso isolado de NaOCl a 2,5% e em relação apenas ao *laser* Er,Cr:YSGG. No entanto, Suer et al. (2020) verificaram que a redução de bactérias utilizando Er,Cr:YSGG em conjunto com 2,5% de NaOCl foi aumentada em comparação com a redução alcançada apenas com o *laser* Er,Cr:YSGG, mas foi comparável à redução conseguida utilizando 5% de NaOCl.

Outros estudos, por outro lado, utilizaram os lasers de Er,Cr:YSGG em combinação com NaOCl a 5,25%. Estes estudos incluem os realizados por Licata et al. (2015) e Wang et al. (2018). Estes estudos demonstraram igualmente resultados promissores em termos de redução bacteriana.

Licata et al. (2015) notaram uma maior redução bacteriana com Er,Cr:YSGG + NaOCl a 5,25% em comparação com NaOCl a 5,25%, alcançando maior eficácia não apenas com o aumento do tempo, mas também com o aumento da energia utilizada.

Da mesma forma, o uso do *laser* Er:YAG em combinação com NaOCl a 2,5% tem demonstrado resultados promissores. Estudos como os de Otaify et al. (2020) e Yang e Chen (2024) indicaram que a irradiação a *laser* pode melhorar a eficácia do NaOCl na redução de bactérias.

No entanto, embora alguns estudos não tenham observado os mesmos efeitos positivos; Balić et al. (2016) também realizaram uma experiência utilizando o *laser* Er:YAG em combinação com NaOCl a 2,5%; contudo, não encontraram os mesmos efeitos positivos observados nos outros estudos, revelando uma maior redução bacteriana com NaOCl a 2,5% em comparação com Er:YAG + NaOCl a 2,5%.

Cheng et al. realizaram uma série de estudos sobre a irradiação com *laser* Er:YAG em combinação com NaOCl a 5,25%. Nos estudos de Cheng et al. (2012) e Cheng et al. (2016), utilizaram microscopia eletrônica de varredura (SEM) para visualizar as bactérias

nos túbulos dentinários após os processos de inoculação com *E. faecalis*. Além disso, empregaram a contagem de c.f.u. para avaliar a redução bacteriana pós-tratamento. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada da eficácia dos tratamentos na eliminação das bactérias nos túbulos dentinários. Em particular, Cheng et al. (2016) observaram que a maior redução das bactérias ocorreu quando foi utilizado um *laser* com maior intensidade e a amostra foi exposta durante um período mais longo. Por outro lado, Cheng, Tian, et al. (2017) realizaram experiências em que utilizaram diferentes diâmetros para verificar seu impacto nos resultados. Os seus resultados revelaram que diâmetros maiores, tempos de exposição mais longos e maior potência de irradiação levaram a uma diminuição mais significativa das bactérias.

El Hady et al. (2024) e Shahi Ardakani et al. (2023) também investigaram a eficácia da desinfecção utilizando o *laser* Er:YAG em combinação com NaOCl a 5,25%. El Hady et al. (2024) observaram que o grupo tratado com Er:YAG + NaOCl a 5,25% apresentou uma remoção de biofilme significativamente maior em comparação com aquele tratado apenas com NaOCl a 5,25%. Por outro lado, Shahi Ardakani et al. (2023) constataram que não houve diferenças significativas entre a irrigação convencional com NaOCl a 5,25% e a combinação de Er:YAG + NaOCl a 5,25%, uma vez que ambos resultaram em uma redução de 100% das bactérias.

Os estudos indicam uma variação nos parâmetros ideais do *laser* para efeitos bactericidas. Embora seja comum associar uma maior redução bacteriana a potências de saída mais altas e tempos de irradiação mais longos, as configurações específicas que conduzem aos melhores resultados diferem entre os estudos.

É crucial destacar que os resultados são influenciados pelos parâmetros do *laser*, como potência, frequência e tempo de exposição. Por exemplo, em um estudo realizado por Dragidella e Kameri (2023), foi observada uma redução bacteriana mais significativa com uma exposição mais longa (90 s) em comparação com uma exposição mais curta (30 s). Da mesma forma, Cheng et al. (2016) descobriram que uma irradiação de 0,5 W durante 30 s foi eficaz na eliminação da *E. faecalis* nos túbulos dentinários.

O único estudo a comparar o efeito de Er:YAG + NaOCl a 5,25% com um controle positivo que não recebeu qualquer tratamento foi o de Ensafi et al. (2022).

Por fim, Wang et al. (2018), além de avaliar o *laser* Er,Cr:YSGG em combinação com NaOCl 5,25%, também investigaram o *laser* Er:YAG em combinação com NaOCl 5,25%

no mesmo estudo, comparando os dois lasers entre si e com a irrigação padrão apenas com NaOCl 5,25%. Os resultados revelaram que a maior redução bacteriana foi alcançada por Er:YAG + NaOCl 5,25%, seguido por Er,Cr:YSGG + NaOCl 5,25%, e por último NaOCl 5,25%.

A ativação do NaOCl com lasers também foi eficaz na erradicação de biofilmes bacterianos, como demonstrado por Merigo et al. (2021) e Otaify et al. (2020).

Os estudos de Suer et al. (2020) e Wang et al. (2018), sublinham a importância de otimizar os parâmetros do *laser*, para maximizar a eficácia do *laser* na eliminação de bactérias e, ao mesmo tempo, diminuir o risco de lesões nos tecidos.

No entanto, persistem desafios que precisam ser abordados, como o potencial de danos térmicos nos tecidos circundantes e a necessidade de otimização dos parâmetros do *laser*, como destacado por o estudo de Balić et al. (2016). Além disso, a atenuação dos efeitos do *laser* com o aumento da distância, bem como a alta tensão superficial das soluções de irrigação também podem limitar sua eficácia.

A preparação do canal radicular é uma fase crucial nos procedimentos endodônticos, pois a eficácia da desinfecção depende em grande parte da escolha dos instrumentos utilizados. Esta revisão integrativa analisou vários estudos que empregaram diferentes métodos de instrumentação do canal.

Estudos como os conduzidos por Aydin et al. (2020), Bago Jurič et al. (2014), El Hady et al. (2024), Otaify et al. (2020) e Yang e Chen (2024), utilizaram o sistema ProTaper para a preparação do canal. Esses estudos geralmente relataram alta eficácia na redução da carga bacteriana. Aydin et al. (2020), por exemplo, observaram uma notável redução microbiana. Este resultado destaca a capacidade dos instrumentos ProTaper de se conformar às curvaturas dos canais, reduzindo a formação de smear layer e melhorando a eficácia da desinfecção, facilitando a penetração e a eficácia dos irrigantes.

A utilização combinada de limas manuais e rotatórias, como descrito no estudo de Balić et al. (2016), mostrou resultados variáveis, mas geralmente eficazes na preparação dos canais. A combinação desses instrumentos levou a uma redução significativa da carga bacteriana, demonstrando que até mesmo métodos menos sofisticados podem ser eficazes se utilizados corretamente.

Os estudos de Cheng et al. (2012 e 2016) empregaram brocas para a preparação do canal, obtendo uma redução eficaz da carga bacteriana, embora inferior em comparação com

métodos mais avançados como as limas rotatórias de liga de NiTi ou os sistemas rotatórios como o ProTaper, principalmente devido à menor capacidade de se conformar às curvaturas dos canais e à maior formação de smear layer.

Cheng, Tian, et al. (2017) e Cheng, Xiang, et al. (2017), Licata et al. (2015) e Suer et al. (2020), utilizaram limas rotatórias de liga de NiTi em seus estudos. Esses instrumentos demonstraram uma redução muito eficaz da carga bacteriana, evidenciando a superioridade em comparação com outros métodos. As limas rotatórias de NiTi são particularmente apreciadas por sua flexibilidade e capacidade de manter a conformação do canal radicular durante a preparação. Esses estudos geralmente relataram uma redução muito eficaz da carga bacteriana, evidenciando a superioridade das limas rotatórias de NiTi em comparação com outros instrumentos.

Dragidella e Kameri (2023), combinaram o uso de limas manuais com a lima rotatória ProTaper F3, obtendo resultados excelentes na redução da carga bacteriana. Esta combinação aproveita os benefícios de ambas as abordagens, melhorando a eficácia da desinfecção.

Outros sistemas utilizados, como o sistema WaveOne, utilizado por Dumani et al. (2019) e Merigo et al. (2021), demonstraram uma eficácia comparável à obtida com os sistemas rotatórios de NiTi. Ensafi et al. (2022) e Shahi Ardakani et al. (2023) utilizaram limas BioRaCe, relatando uma redução significativa da carga bacteriana. Também foram utilizadas as Brocas Gates Glidden por Wang et al. (2018), que obteve bons resultados, mas geralmente inferiores às limas rotatórias de NiTi.

A escolha da instrumentação do canal tem um impacto significativo nos resultados da desinfecção do canal radicular. Instrumentos avançados, como as limas rotatórias de liga de NiTi e os sistemas ProTaper, tendem a fornecer melhores resultados em termos de redução da carga bacteriana em comparação com métodos mais tradicionais, como as brocas e as Brocas Gates Glidden.

Os resultados sugerem que a utilização dos lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG em conjunto com o NaOCl foi mais eficaz na redução da carga bacteriana quando comparada com o uso isolado do NaOCl. A avaliação da eficácia do tratamento baseou-se principalmente na percentagem de redução bacteriana alcançada em cada protocolo. Em alguns casos, a potência do *laser* e a duração da irradiação demonstraram influenciar a eficácia do

tratamento, com resultados mais promissores observados em configurações específicas de potência e tempo de exposição.

Entretanto, os resultados obtidos até o momento sugerem que a combinação dos lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG com NaOCl pode representar uma melhoria na desinfecção endodôntica de canais radiculares infectados.

3. CONCLUSÃO

A análise dos estudos examinados proporcionou uma compreensão abrangente das diferentes abordagens metodológicas e das alterações nos protocolos experimentais utilizados para avaliar a eficácia da desinfecção endodôntica.

Tanto a redução do biofilme bacteriano quanto a eliminação do *E. faecalis* dos canais radiculares são componentes essenciais para o sucesso do tratamento endodôntico, conforme demonstrado na literatura examinada, que salienta a eficácia dessas combinações.

De forma geral a combinação dos lasers Er:YAG ou Er,Cr:YSGG com NaOCl demonstrou maior eficácia na redução da presença bacteriana em comparação com a utilização de NaOCl isoladamente. No entanto, é fundamental reconhecer que os resultados obtidos em experiências laboratoriais podem não refletir completamente os desafios encontrados na prática clínica. Portanto, são necessários mais ensaios clínicos randomizados controlados para validar plenamente esses achados.

Isso ressalta a importância da otimização dos parâmetros do *laser*, como a potência e o tempo de exposição, para maximizar a eficácia da terapia, minimizando a quantidade de danos causados aos tecidos circundantes.

Em conclusão, a utilização combinada dos lasers Er:YAG e Er,Cr:YSGG com NaOCl apresenta uma abordagem promissora para aumentar a eficácia da desinfecção endodôntica.

No entanto, é essencial que a comunidade científica mantenha uma procura contínua de inovação, para aprimorar os procedimentos existentes e desenvolver novas metodologias. Ao manter uma forte dedicação para alcançar a excelência na desinfecção endodôntica, podemos garantir a saúde bucal e a eficácia geral dos tratamentos dentários a longo prazo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. S. Arneiro, R., D. Nakano, R., A. A. Antunes, L., B. Ferreira, G., B. F. C. Fontes, K., & S. Antunes, L. (2014). Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *Journal of Oral Science*, *56*(4), 277–285. <https://doi.org/10.2334/josnusd.56.277>
- Ahmad, M., & Chandra, S. (2023). The microbial community of persistent endodontic infection and the use of root canal disinfectants against *E. faecalis*: In vitro and in vivo review. *Medicine Science | International Medical Journal*, *12*(2), 606. <https://doi.org/10.5455/medscience.2022.11.242>
- Asnaashari, M., Sadeghian, A., & Hazrati, P. (2022). The effect of high-power lasers on root canal disinfection: A systematic review. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, *13*, e66. <https://doi.org/10.34172/jlms.2022.66>
- Aydin, S. A., Taşdemir, T., Buruk, C. K., & Çelik, D. (2020). Efficacy of erbium, chromium-doped yttrium, scandium, gallium and garnet laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation, conventional irrigation, and photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis*. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, *21*(1), 11–16. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2727>
- Bago Jurič, I., Plečko, V., & Anić, I. (2014). Antimicrobial efficacy of Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation and rinsendo[®] against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Photomedicine and Laser Surgery*, *32*(11), 600–605. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3767>
- Balić, M., Lucić, R., Mehadžić, K., Bago, I., Anić, I., Jakovljević, S., & Plečko, V. (2016). The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal *E. faecalis* biofilm. *Lasers in Medical Science*, *31*(2), 335–342. <https://doi.org/10.1007/s10103-015-1864-9>
- Bordea, I. R., Hanna, R., Chiniforush, N., Grădinaru, E., Câmpian, R. S., Sîrbu, A., Amaroli, A., & Benedicenti, S. (2020). Evaluation of the outcome of various laser therapy applications in root canal disinfection: A systematic review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *29*, 101611. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.101611>
- Cheng, X., Chen, B., Qiu, J., He, W., Lv, H., Qu, T., Yu, Q., & Tian, Y. (2016). Bactericidal effect of Er:YAG laser combined with sodium hypochlorite irrigation against *Enterococcus faecalis* deep inside dentinal tubules in experimentally infected root canals. *Journal of Medical Microbiology*, *65*(2), 176–187. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.000205>
- Cheng, X., Guan, S., Lu, H., Zhao, C., Chen, X., Li, N., Bai, Q., Tian, Y., & Yu, Q. (2012). Evaluation of the bactericidal effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers in Surgery and Medicine*, *44*(10), 824–831. <https://doi.org/10.1002/lsm.22092>
- Cheng, X., Tian, T., Tian, Y., Xiang, D., Qiu, J., Liu, X., & Yu, Q. (2017). Erbium:yttrium aluminum garnet laser-activated sodium hypochlorite irrigation: A promising

- procedure for minimally invasive endodontics. *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(12), 695–701. <https://doi.org/10.1089/pho.2017.4274>
- Cheng, X., Xiang, D., He, W., Qiu, J., Han, B., Yu, Q., & Tian, Y. (2017). Bactericidal effect of Er:YAG laser-Activated sodium hypochlorite irrigation against biofilms of *Enterococcus faecalis* isolate from canal of root-filled teeth with periapical lesions. *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(7), 386–392. <https://doi.org/10.1089/pho.2017.4293>
- Craigbaumgartner, J., & Mader, C. (1987). A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*, 13(4), 147–157. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(87\)80132-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(87)80132-2)
- De Moor, R. J. G., Blanken, J., Meire, M., & Verdaasdonk, R. (2009). Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: Evaluation of the efficacy. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41(7), 520–523. <https://doi.org/10.1002/lsm.20797>
- Dewsnup, N., Pileggi, R., Haddix, J., Nair, U., Walker, C., & Varella, C. H. (2010). Comparison of bacterial reduction in straight and curved canals using erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser treatment versus a traditional irrigation technique with sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 36(4), 725–728. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.11.017>
- Dragidella, A., & Kameri, A. (2023). Comparative effects of Er:YAG laser, sodium hypochlorite, and QMix on root canals infected with *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 14, e43. <https://doi.org/10.34172/jlms.2023.43>
- Du, T., Wang, Z., Shen, Y., Ma, J., Cao, Y., & Haapasalo, M. (2014). Effect of long-term exposure to endodontic disinfecting solutions on young and old *Enterococcus faecalis* biofilms in dentin canals. *Journal of Endodontics*, 40(4), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.11.026>
- Dumani, A., Tanrisever, D., Sihay, D., Kuzu, S., Yilmaz, S., & Guvenmez, H. (2019). Efficacy of calcium hypochlorite with and without Er,Cr: Yttrium, scandium, gallium, garnet laser activation on *Enterococcus faecalis* in experimentally infected root canals. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22(2), 215. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_457_18
- Elhady, A., Obeid, M., & Yehia, T. (2024). Efficiency of different irrigation protocols on Cleanliness and disinfection of root canal (an in-vitro study). *Ain Shams Dental Journal*, 33(1), 114–120. <https://doi.org/10.21608/asdj.2023.212496.1177>
- Ensafi, F., Fazlyab, M., Chiniforush, N., & Akhavan, H. (2022). Comparative effects of SWEEPS technique and antimicrobial photodynamic therapy by using curcumin and nano-curcumin on *Enterococcus faecalis* biofilm in root canal treatment. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 40, 103130. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103130>
- Estrela, C., Estrela, C. R. A., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 113–117. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402002000200007>
- Goldman, M., Goldman, L. B., Cavaleri, R., Bogis, J., & Sun Lin, P. (1982). The efficacy of several endodontic irrigating solutions: A scanning electron microscopic study:

Part 2. *Journal of Endodontics*, 8(11), 487–492. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(82\)80073-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(82)80073-3)

- Hajjar, S., Melo-Ferraz, A., Carvalho, O., Henriques, B., Silva, F., Teughels, W., & Souza, J. C. M. (2022). An integrative review on the tooth root canal disinfection by combining laser-assisted approaches and antimicrobial solutions. *Lasers in Dental Science*, 6(3), 133–151. <https://doi.org/10.1007/s41547-022-00163-0>
- Hardee, M. W., Miserendino, L. J., Kos, W., & Walia, H. (1994). Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation. *Journal of Endodontics*, 20(8), 377–380. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80294-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80294-3)
- Ibrahim, G. I., & Jawad, H. A. (2023). Investigating the effect of Er,Cr:YSGG laser agitation of sodium hypochlorite on the removal of mature biofilm in the complex root canal systems using atomic force microscopy. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 17(3), 154–161. <https://doi.org/10.34172/joddd.2023.40463>
- Jadhao, R., R. S. S., Srinivasan, A., & Jaggi, P. (2023). Antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite and Er, Cr: YSGG laser against *E Faecalis* biofilm - A systematic review. *Saudi Journal of Oral and Dental Research*, 8(06), 201–207. <https://doi.org/10.36348/sjodr.2023.v08i06.004>
- Jahan, K. M. R., Hossain, M., Nakamura, Y., Yoshishige, Y., Kinoshita, J.-I., & Matsumoto, K. (2006). An assessment following root canal preparation by Er,Cr:YSGG laser irradiation in straight and curved roots, in vitro. *Lasers in Medical Science*, 21(4), 229–234. <https://doi.org/10.1007/s10103-006-0401-2>
- Kumar, T., Singh Gill, Gurdeep, & Rani, Shweta. (2016). Laser in endodontics. *Laser In Endodontics*.
- Licata, M. E., Albanese, A., Campisi, G., Geraci, D. M., Russo, R., & Gallina, G. (2015). Effectiveness of a new method of disinfecting the root canal, using Er, Cr:YSGG laser to kill *Enterococcus faecalis* in an infected tooth model. *Lasers in Medical Science*, 30(2), 707–712. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1410-6>
- Mader, C. L., Baumgartner, J. C., & Peters, D. D. (1984). Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *Journal of Endodontics*, 10(10), 477–483. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(84\)80204-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(84)80204-6)
- Maftah, H., & Dhaimy, S. (2022). The effectiveness of laser assisted irrigation in endocanalary disinfection and hard tissue debris removal: A systematic review. *Oral Health and Dental Science*, 6(3). <https://doi.org/10.33425/2639-9490.1110>
- Matsumoto, H., Yoshimine, Y., & Akamine, A. (2011). Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er:YAG laser within a root canal model. *Journal of Endodontics*, 37(6), 839–843. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.035>
- McComb, D., & Smith, D. C. (1975). A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 1(7), 238–242. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(75\)80226-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(75)80226-3)
- Meire, M. A., Poelman, D., & De Moor, R. J. (2014). Optical properties of root canal irrigants in the 300–3,000-nm wavelength region. *Lasers in Medical Science*, 29(5), 1557–1562. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1307-4>
- Merigo, E., Bufflier, P., Rocca, J.-P., Chevalier, M., Medioni, E., Meng, Z., & Fornaini, C. (2021). Bactericidal effect of Er,Cr:YSGG laser irradiation on endodontic

- biofilm: An ex vivo study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 218, 112185. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2021.112185>
- Otaify, R. R., Roshdy, N. N., & Ezzat, N. (2020). Evaluation of competency of diode laser and Er: YAG laser activation on sodium hypochlorite capability for biofilm eradication and smear layer removal: A comparative in vitro study.
- Perez, F., Calas, P., De Falguerolles, A., & Maurette, A. (1993). Migration of a *Streptococcus sanguis* strain through the root dentinal tubules. *Journal of Endodontics*, 19(6), 297–301. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80460-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80460-7)
- Shahi Ardakani, A., Afrasiabi, S., Sarraf, P., Benedicenti, S., Solimei, L., & Chiniforush, N. (2023). In vitro assessment of SWEEPS and antimicrobial photodynamic therapy alone or in combination for eradicating *Enterococcus faecalis* biofilm in root canals. *Pharmaceutics*, 15(11), 2628. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15112628>
- Stabholz, A., Saharhelft, S., & Moshonov, J. (2008). The use of lasers for cleaning and disinfecting of the root canal system. *Alpha Omegan*, 101(4), 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.aodf.2008.07.029>
- Stojicic, S., Amorim, H., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2013). Ex vivo killing of *Enterococcus faecalis* and mixed plaque bacteria in planktonic and biofilm culture by modified photoactivated disinfection. *International Endodontic Journal*, 46(7), 649–659. <https://doi.org/10.1111/iej.12041>
- Suer, K., Ozkan, L., & Guvenir, M. (2020). Antimicrobial effects of sodium hypochlorite and Er,Cr:YSGG laser against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 23(9), 1188. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_632_18
- Torabinejad, M., Handysides, R., Khademi, A. A., & Bakland, L. K. (2002). Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 94(6), 658–666. <https://doi.org/10.1067/moe.2002.128962>
- Wang, X., Cheng, X., Liu, X., Wang, Z., Wang, J., Guo, C., Zhang, Y., & He, W. (2018). Bactericidal effect of various laser irradiation systems on *Enterococcus faecalis* biofilms in dentinal tubules: A confocal laser scanning microscopy study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 36(9), 472–479. <https://doi.org/10.1089/pho.2017.4430>
- Yamada, R. S., Armas, A., Goldman, M., & Lin, P. S. (1983). A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics*, 9(4), 137–142. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80032-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80032-6)
- Yang, G., & Chen, W. (2024). In vitro effects of Er: YAG laser-activated photodynamic therapy on *Enterococcus faecalis* in root canal treatment. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 45, 103992. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2024.103992>