

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Julia Fernanda da Silva**

**Thais Almeida da Silva**

**LASER EM ODONTOLOGIA: TERAPIA FOTODINÂMICA  
(PDT) E FOTOACÚSTICA INDUZIDA POR FÓTONS (PIPS)**

**Uma Revisão**

**Taubaté – SP**

**2018**

**Julia Fernanda da Silva**

**Thais Almeida da Silva**

**LASER EM ODONTOLOGIA: TERAPIA FOTODINÂMICA  
(PDT) E FOTOACÚSTICA INDUZIDA POR FÓTONS (PIPS)**

**Uma Revisão**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado ao Departamento de Odontologia, da Universidade de Taubaté, como parte das exigências para a obtenção de grau acadêmico no curso de Odontologia.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Pinto  
Auxiliadora

**Taubaté – SP  
2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S586l Silva, Julia Fernanda da  
Laser em odontologia: terapia fotodinâmica (PDT) e fotoacústica induzida por fótons (PIPS) uma revisão / Julia Fernanda da Silva; Thais Almeida da Silva Souza. – 2018.  
41 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Odontologia, 2018.  
Orientação: Profa. Dra. Cláudia Auxiliadora Pinto, Departamento de Odontologia.

1. Endodontia. 2. PDT. 3. PIPS. 4. Terapia fotodinâmica. I. Souza, Thais Almeida da Silva. II. Universidade de Taubaté. III. Título.

CDD - 617.634

Ficha catalográfica elaborada por Angela de Andrade Viana – CRB-8/8111

**Julia Fernanda da Silva  
Thais Almeida da Silva**

**LASER EM ODONTOLOGIA: TERAPIA FOTODINÂMICA (PDT) E  
FOTOACÚSTICA INDUZIDA POR FÓTONS (PIPS)  
Uma Revisão**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado ao Departamento de Odontologia, da Universidade de Taubaté, como parte das exigências para a obtenção de grau acadêmico no curso de Odontologia.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Pinto  
Auxiliadora

Data: 30 de novembro de 2018

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof.: Dra. Sandra Marcia Habitante , Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof.: Dr. Valério Costa , Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof.: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

Aos nossos pais, que nos deram todo o apoio e nos incentivaram a chegarmos até aqui. E a nossa professora orientadora, por todo auxílio dado e carinho durante todo esse período.

Julia Fernanda da Silva  
Thais Almeida da Silva

## **AGRADECIMENTOS**

### **JULIA FERNANDA DA SILVA**

Primeiramente a Deus, pois sem ele não conseguiria chegar até aqui, me dando força e paciência nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Eliana e José, e aos meus irmãos, eles são os meus maiores exemplos. O qual sou eternamente agradecida, por nunca me desmotivarem e sempre estarem ao meu lado, auxiliando nas dificuldades. Foram eles também quem estavam nos momentos de alegria, celebrando cada conquista.

À minha insuportável e amável dupla, Thais, que esteve comigo nestes quatro anos, me aguentando e atormentando. Juntas chegamos até aqui, uma incentivando a outra nos problemas, sempre com palavras positivas. Pulando juntas nas vitórias.

Ao meu namorado, Ricardo, e amigos que fiz nessa trajetória, Mariana, Lucas, Ludmylla, Mayra, Luana e Gustavo, por toda a paciência que tiveram comigo e por sempre torcerem por mim.

E a minha maravilhosa Professora Orientadora Cláudia, que merece o mundo, sou sortuda por ter a tido sua orientação, com ela aprendi muito e desejo carregar este carinho e amizade por toda a minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

### **THAÍS ALMEIDA DA SILVA**

Primeiramente gostaria de agradecer ao Universo por sempre ter me iluminado e confortado nas horas que tudo parecia impossível.

Agradeço imensamente aos meus pais e minha avó Lourdes e meu irmão João Victor que sempre me incentivaram e me apoiaram por mais delicada que fosse qualquer fase, me dando todo apoio e coragem. Com toda certeza se não fosse por eles, eu não estaria aqui!

À minha dupla magnífica e única que apareceu de uma forma leve e bonita, me ajudando nos piores e melhores momentos. Sem sombra de dúvidas levarei cada palavra que ouvi dessa garota iluminada para o resto da minha vida. Ressaltando uma frase que sempre nos confrontou que é “ainda bem que tenho você”. Em meio a tanto caos, uma ajudou a outra firmemente em todos os momentos, até mesmo naqueles os quais as duas estavam fracas e sem ânimo para lutar. Uma amizade linda que sei que posso contar para o resto da minha vida!

Ao meu namorado Lucas que caminhou e continuará caminhando lado a lado, em momentos ótimos, mas também em momentos de extrema dificuldade. Considero um homem de muita paciência e que me ama muito, por que eu no lugar dele, eu não me aguentaria.

Aos meus queridos amigos que construí aqui na universidade, Mariana, Mayra, Lucas, Luana, Ludmylla e Gustavo e aos de fora que sempre me acolheram e me motivaram, não podia deixar passar em branco o quanto algumas amigas foram cruciais para eu estar aqui, como Ellen, Melissa, Jennifer e Izabela's.

Aos professores que me acompanharam até aqui, compartilhando sabedoria, inspirações e coragem e em especial o professor Celso que abriu um horizonte jamais percebido por mim, me fazendo mais humana e profissional, e cada palavra dita guardei com muita atenção e carinho em meu coração.

À minha “Soberana” Orientadora Porf.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia que em disparado foi a melhor professora que tive! Aprendi muito e quero guardar para sempre todo esse carinho e inspiração.

Também não podia deixar de ressaltar a importância de todos os meus cachorros, que em momentos de tristezas e alegrias, sempre foram um dos meus melhores refúgios!

## RESUMO

Objetivo: Estabelecer as indicações, protocolos e eficiência da Terapia Fotodinâmica (PDT) e fotoacústica induzida por fótons (PIPS), no auxílio da descontaminação do canal radicular, baseando-se na literatura científica. Método: Realizou-se uma busca na base de dados PubMed, e BBO utilizando como palavras-chave: Terapia Fotodinâmica, Laser, Endodontia e os termos correspondentes em inglês: PDT, PIPS, Laser, Endodontics e como filtro as publicações dos últimos dez anos. Conclusões: 1. PDT tem um efeito antimicrobiano comprovado, sobretudo em bactérias resistentes, não afetando o hospedeiro e não criando resistência antimicrobiana, devendo ser utilizada como terapia complementar após o preparo químico cirúrgico do canal, devendo ser precedida pela irrigação final sob agitação com hipoclorito de sódio; 2. O PIPS melhora a ação das substâncias químicas na descontaminação do canal, na dissolução tecidual e na remoção do magma dentinário, permitindo a ação das substâncias em profundidade nos túbulos, sendo um meio eficaz de ativação da substância química auxiliar.

**Palavras-Chave:** Terapia Fotodinâmica. Endodontia. PDT. PIPS.

## LISTA DE ABREVIações

PDT – Photodynamic Therapy (Terapia Fotodinâmica)

PIPS – Photon Induced Photoacoustic Streaming (Feixe de luz fotoacústica induzido por fótons)

Er:YAG – Erbium – yttrium aluminium garnet laser ( Laser de granada de ítrio-alumínio dopado com érbio)

Cr:YSGG –

Nd:YAG - Neodymium-doped - yttrium aluminium garnet (Dopado com neodímio - granada de alumínio e ítrio)

NaOCl – Hipoclorito de Sódio

nm – nanômetros

mW – megawatt

PCR – Reações de cadeia de polimerase

UFC – Unidade formadora de colônias

PBS – Tampão fosfato-salino

ICG – Idocianina Verde

NIR – Laser de diodo infravermelho

PAD – Terapia fotoativada

AP – Periodontite apical

SX – Sterilox 400ppm

SH2 – NaClO 2%

SH5 – NaClO 5%

SS – Solução salina

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

DAP – Dupla pasta antibiótica

TAP – Tripla pasta antibiótica

SWEEPS – Transmissão de choque fotoacústica por emissão aprimorada por ondas

SO – One Shape

CNI – Irrigação convencional por agulha

PTN – Protaper Next

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.13</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 TERAPIA FOTODINÂMICA (PDT).....	144
3.1.1 Efeito Antimicrobiano.....	155
3.1.2 Avaliação Histológica.....	199
3.1.3 Casos Clínicos .....	20
3.2 <i>PHOTON INDUCED PHOTOACOUSTIC STREAMING</i> (PIPS) .....	222
3.2.1 Limpeza do Canal Radicular .....	244
3.2.2 Ação Antimicrobiana .....	266
3.2.3 Extrusão de Irrigante .....	299
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso da Terapia Endodôntica está diretamente relacionado com a eficácia da descontaminação dos canais radiculares, pois a permanência de microrganismos viáveis leva ao insucesso do tratamento, resultando em alterações dos tecidos periapicais, que não alcançam a reparação.

Diversas propostas têm sido criadas dentro dos protocolos já estabelecidos buscando favorecer a descontaminação durante a terapêutica endodôntica. O laser tem encontrado ampla aplicabilidade em fomentar a descontaminação do sistema de canais, seja por meio da Terapia Fotodinâmica (*Photodynamic Therapy* – PDT), seja por meio da PIPS (*Photon Induced Photoacoustic Streaming* – Feixe de luz fotoacústico induzido por fótons). A literatura diz que 35% ou mais do sistema de canais radiculares permanece intocado por qualquer técnica de instrumentação e, para diminuir a carga bacteriana, protocolos de irrigação são utilizados antes da obturação (DIVITO; OLIVI, 2013).

Segundo Bueno et al. (2017) a PDT é utilizada como alternativa para complementar a redução de microrganismos residuais nos canais radiculares após o desbridamento químico-mecânico. O método consiste numa combinação de luz visível com um agente fotossensibilizador e a associação destes irá produzir agentes citotóxicos letais aos microrganismos, conseguindo destruir células seletivamente.

Para isso, a luz do laser é essencial, pois é a única luz que possui todas as propriedades necessárias, Machado et al. (2017) explicam que a luz seja considerada luz deve ter as seguintes propriedades: ter um comprimento único de onda, coerência em tempo e espaço na irradiação das ondas, colimação e polarização. O autor também define que a luz é uma radiação de energia eletromagnética que se propaga em forma de ondas e é irradiada por uma fonte artificial ou natural. É uma torrente de partículas sem carga e sem massa chamadas fótons, capazes de transportar todas as formas de radiação eletromagnética e de trocar energia com a matéria. A luz tem então comportamento dual: é emitida em forma de ondas, mas é visualizada em termos de corpúsculos de luz ou fótons.

PIPS é outra alternativa de limpeza para a eliminação de microrganismos do canal. De acordo com Bueno e et al. (2017), PIPS funciona sem a necessidade de adentrar o sistema de canais e sem efeitos térmicos na ativação dos irrigantes. Seu mecanismo de ação baseia-se na criação de uma forte onda de choque fotoacústica

transmitida aos irrigantes tridimensionalmente em todo o canal. Portanto, o laser utilizado junto com as substâncias irrigadoras consegue promover a eliminação do magma dentinário e a desinfecção junto aos túbulos dentinários, por consequência da limpeza que promove. Irrigação ativada por laser pela técnica PIPS gera uma tremenda turbulência e vibração tridimensional dentro dos canais radiculares (DIVITO; OLIVI, 2013).

Sendo um assunto atual e de grande interesse e aplicabilidade na Endodontia torna-se pertinente realizar uma revisão de literatura buscando abordar a efetividade do laser como coadjuvante no tratamento endodôntico.

## 2 OBEJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estabelecer as indicações, protocolos e eficiência alcançada pela utilização destes protocolos de uso dos lasers em Endodontia, nas técnicas PDT e PIPS.

Realizar uma Revisão de Literatura utilizando a Base de Dados Científicos: PubMed. Foram utilizadas nas buscas as palavras-chave: “Endodontia”, “Terapia Fotodinâmica” e os termos em inglês: “*endodontics*”, “PDT” e “PIPS”, buscando publicações dos últimos dez anos (2008 a 2018).

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Muhammad et al. (2015) realizaram uma revisão de artigos científicos com o objetivo de revelar a evolução da posição do laser e adjuvantes aos protocolos convencionais de desinfecção de canais radiculares, analisando diferentes tipos de laser e comprimentos de ondas. Analisaram os seguintes lasers: Er:YAG (érbio) que, de acordo com os autores é eficiente na remoção do magma dentinário e quando associado ao hipoclorito tem grande sucesso na descontaminação do canal, com comprimento de onda de 2949 nm, potência de 0,3w e 15Hz por 20 segundos em dois períodos. O Er, Cr: YSGG tem a capacidade de remover a camada de magma do canal radicular, e efeitos bactericidas, com o comprimento de onda de 2780 nm. Já o laser Nd: YAG (neodímio) que é um infravermelho que inativa as bactérias por elevação local da temperatura, tem uma ação superior com o comprimento de onda de 1064 nm. Já o Nd: YAP é eficiente na limpeza do canal com um comprimento de onda de 1340 nm. KTP tem capacidade de reduzir a carga bacteriana, mas a eficiência é maior associado a irrigação com hipoclorito de sódio. Lasers de diodo conseguem a redução de carga bacteriana em diferentes comprimentos de onda, e quando associado ao EDTA-T surte maior efeito na remoção do magma com o comprimento ideal de 940 nm. O PDT por sua vez não mostrou diferenças entre um minuto ou quatro de irradiação de fotossensibilizadores e o laser de diodo garante o alcance máximo no canal radicular. O laser de CO2 consegue levar as bactérias a morte, mas não é eficiente quando utilizado para desinfecção de toda extrusão do canal radicular. Perceberam que o Er: YAG é tão eficaz quanto o YSGG, e uma menor taxa de eficácia quando comparado o laser de diodo com o YAG, observaram que o YAG é muito mais satisfatório. Concluíram que a fototerapia está em constante evolução onde energias mais baixas associada com soluções irrigadoras geram canais limpos e livre de camadas de detritos e magma, com diferentes comprimentos de ondas, superiores a 2500 nm, e associação com irrigantes. Concluíram que apesar de toda evolução os lasers não agem de forma sozinha, e a terapia fotodinâmica não substitui o desbridamento químico mecânico.

#### **3.1 TERAPIA FOTODINÂMICA (PDT)**

Bueno et al. (2017) afirmaram que a PDT é utilizada como alternativa complementar a redução de microrganismos residuais nos canais radiculares após o desbridamento químico-mecânico. O método consiste numa combinação de luz visível com um agente fotossensibilizante, a associação destes irá produzir agentes citotóxicos letais aos microrganismos, conseguindo destruir células seletivamente.

### 3.1.1 Efeito Antimicrobiano

Bago et al.(2012) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito antimicrobiano da irradiação de laser de diodo, a desinfecção fotoativada, irrigação convencional e com ativação sônica com 2,5% de NaOCl sobre *Enterococcus faecalis*. Utilizaram para o estudo 120 dentes unirradiculares retos humanos extraídos, que foram preparados com limas ProTaper e esterilizados. Foram então contaminadas com *E. faecalis*, incubados por sete dias divididos em cinco grupos: Grupo 1 – irrigados com 5mL de NaOCl a 2.5% por 60 segundos com uma agulha a 2mm do CRT. Grupo 2 – irrigados 5mL de NaOCl a 2.5% por 30 segundos seguido pela ativação do NaOCl por mais 30 segundos com a ponta do EndoActivator a 2mm do CRT. Grupo 3 – irradiados com laser Diodo pulsado por 20 segundos por três vezes com intervalos de 10 segundos com a fibra a 1 mm do CRT, irradiando de apical para cervical (975nm, 2W). Grupo 4 – os canais foram preenchidos com azul de toluidina até o nível da cavidade de acesso, a solução foi agitada com uma lima K#15 e deixada por 1 minuto no canal. A irradiação foi realizada com o laser de Diodo (660nm, 100 mW) com a fibra posicionada no CRT e então realizando movimentos espirais de apical para cervical por 60 segundos. Grupo 5 – os canais foram preenchidos com cloreto de fenotiazina até o nível da cavidade de acesso, agitado com uma lima K15, mantido no canal por dois minutos e irradiado com laser de Diodo (660nm, 100 mW) utilizando uma fibra 3D EndoProbe no CRT por 60 segundos. Os canais radiculares foram irrigados com solução salina antes e após o tratamento, a visualização foi feita no microscópio eletrônico, a contagem das colônias de bactérias foram realizadas por contagem de placas e a presença ou ausência de *E. faecalis* nos canais radiculares foram calculados por reações de cadeia de polimerase (PCR). Concluíram que a ativação sônica (EndoActivator – Grupo 2) e a desinfecção fotoativada (Grupo 4 e 5) reduziram a infecção do canal radicular e tiveram a capacidade de erradicar *E. faecalis*. O laser de diodo de alta

potência (Grupo 3) e a irrigação convencional (Grupo 1) tiveram iguais e baixos efeitos antibacterianos.

Avaliando a eficiência antimicrobiana da PDT, Yildirim et al. (2013) realizaram um estudo comparando o efeito da irradiação com laser de diodo em baixa potência em diferentes tempos. Utilizaram sessenta dentes unirradiculares humanos recém-extraídos dividido em cinco grupos. O Grupo 1 foi irrigado com hipoclorito de sódio a 5% e os grupos 2,3 e 4 foram preenchidos com o fotossensibilizador azul de metileno 70 µL, ficando no local por 1 min, e irradiados com laser de diodo com o comprimento de onda de 660nm com o tempo de exposição de 1,2 e 4 minutos respectivamente e um grupo para controle que não recebeu nenhum tipo de tratamento. Os canais foram preparados, irrigados com hipoclorito de sódio, ácido etilenodiaminotetracético e solução salina, em seguida foram autoclavados. Foram então inoculados com *Enterococcus faecalis*, armazenados por vinte e um dias, para permitir a formação de biofilme, e amostras foram realizadas antes e após os procedimentos de desinfecção. A carga de microrganismos no grupo controle aumentou. A menor redução na carga de microrganismos foi observada no grupo de irradiação de 1 min (Grupo 2 = 99,8%), muito próximo dos resultados dos outros grupos experimentais (99,9%). Não houve diferenças significativas entre os grupos. Concluíram que a PDT é tão eficaz quanto a irrigação convencional com hipoclorito de sódio a 5% em relação à eficiência antimicrobiana contra *Enterococcus faecalis* e a irradiação por 1 min é suficiente para alcançar o efeito antimicrobiano da PDT.

Asnaashari et al. (2016) investigaram os efeitos antimicrobianos de dois métodos de terapia fotodinâmica (PDT) usando um emissor de luz LED laser de diodo de 630nm e o laser de diodo com comprimento de onda de 810nm, aplicado em dentes anteriores extraídos e contaminados por *Enterococcus faecalis*. Cinquenta e seis dentes unirradiculares extraídos foram preparados, esterilizados e inoculados com *E. faecalis* por duas semanas. Foram divididos em dois grupos e expostos ao laser de diodo com um comprimento de onda de 810nm ou à lâmpada de LED com um comprimento de onda de 630nm. Amostragem bacteriana e taxa de sobrevivência bacteriana avaliados em cada grupo. A contagem das UFC no grupo do LED foi significativamente menor que no grupo do laser ( $p = 0.021$ ), enquanto no grupo controle positivo foi significativamente maior que nos grupos de tratamento ( $p < 0.01$ ). Não houve contagem no grupo controle negativo. Concluíram que a Terapia Fotodinâmica pode ser um efetivo complemento na desinfecção do canal. O PDT

usando lâmpada de LED foi mais efetiva que o laser de Diodo com 810nm na redução de UFC de *E. faecalis* em dentes humanos. Chegaram a resultados significativamente positivos, sendo que a UFC de bactérias no grupo de LED foi significativamente menor do que no grupo de laser, enquanto a contagem no grupo de controle positivo foi maior do que nos grupos de tratamento e nenhuma colônia bacteriana foi encontrada no grupo de controle negativo. Concluíram que PDT com laser de diodo de 810nm reduziu a colônia de bactéria, porém o LED foi mais eficaz, tornando um complemento eficiente na desinfecção de canais radiculares.

Oliveira et. al. (2015) realizaram um estudo para avaliar a eficácia da PDT e o NaOCl na desinfecção do canal radicular. A instrumentação foi realizada com lima única em setenta pré-molares inferiores humanos intactos recém-extraídos com canal unirradicular. Foram infectados com os microrganismos *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans*. As amostras foram divididas aleatoriamente em cinco grupos e dois grupos de controle. Grupo 1: NaOCl a 1%; Grupo 2: NaOCl a 5,25%; Grupo 3: solução salina e PDT; Grupo 4: NaOCl a 1% e PDT; Grupo 5: NaOCl a 5,25% e PDT; Grupo 6: controle positivo - solução estéril de cloreto de sódio a 0,85%; Grupo 7: controle negativo, sem microrganismo – solução estéril de cloreto de sódio a 0,85%. Os canais foram instrumentados com o sistema “Reciproc” e o para o PDT o canal foi preenchido com azul de metileno 15g/ml e a fonte de irradiação foi o laser diodo com potência total de 100mW e 660nm de comprimento de onda. Como resultado houve a maior redução de *Enterococcus faecalis* com a utilização do NaOCl a 5,25% associado à PDT, exibindo resultados similares ao NaOCl a 1% e o hipoclorito de sódio a 1% associado a PDT. A PDT associada a solução salina não foi capaz em eliminar todos microrganismos. Não houve diferença estatisticamente significante entre os grupos e os microrganismos.

Gergova et al. (2016) avaliaram a ação bactericida de diferentes métodos contra biofilmes microbianos cultivados em canais radiculares, utilizando terapia a laser PDT, iontoforese e desinfecção com soluções irrigadoras. Utilizaram 300 dentes recém extraídos, unirradiculares, que foram infectados com bactérias gram-positivas, gram-negativas e fungos. Todas as amostras foram preparadas da mesma maneira e depois divididas em cinco grupos principais. Primeiro grupo de controle testado com PBS estéril. Segundo tratado com lasers subdividido em dois grupos: neodímio e diodo. Na terceira desinfecção por PDT usando Fotosan (0,1mg/mL de

azul de toluidina), com comprimento de onda de 660nm e saída de 100mW. O quarto foi tratado com iontoforese com diferentes substâncias químicas. As soluções foram avaliadas contando as gerações de células microbianas nas amostras de canais radiculares e por MEV. *Enterococcus faecalis* e outros cocos Gram-positivos demonstraram maior sensibilidade aos métodos de ação antibacteriana aqui comparados. Na maioria dos casos observados, o tratamento antibacteriano foi menos efetivo contra bactérias Gram-negativas em biofilmes odontológicos. Os biofilmes que eram mais difíceis de eliminar eram os formados pela *Pseudomonas aeruginosa*. O tratamento por iontoforese com iodo e a desinfecção química com hipoclorito e clorexidina demonstraram o efeito bactericida mais potente. Quando a PDT foi aplicada com Fotosan como fotossensibilizador, foi obtida uma melhor desinfecção em comparação com os outros lasers isolados. Concluíram que o hipoclorito, seguido do agente irradiante de clorexidina, apresentou resultados mais satisfatórios em relação à formação de biofilmes bacterianos nos canais radiculares.

Beltes et al. (2017) avaliaram efeito antimicrobiano da PDT utilizando Iodocianina Verde (ICG) como fotossensibilizante e Laser de Diodo Infravermelho (NIR) nos canais radiculares de dentes humanos infectados por *Enterococcus Faecalis*. Selecionaram noventa dentes de raiz única que após preparo químico mecânico e esterilizados que foram contaminados com *E. faecalis* e divididos em oito grupos experimentais: Grupo 1 - PDT com ICG e laser de potência de saída com 0,5W de media energia; Grupo 2 - PDT com ICG e laser com saída de 1W e potência de alta energia; Grupo 3 - aplicação do laser; Grupo 4 – ICG; Grupo 5 - irrigação com 2,5% de NaOCl; Grupo 6 - NaOCl a 2,5% e PDT com ICG e laser; Grupo 7 - sem tratamento, controle positivo e Grupo 8 - sem tratamento, controle negativo. Os conteúdos dos canais foram coletados, incubados por 48 horas e a formação das colônias foram determinadas para avaliar o efeito das combinações testadas. Os testes microbiológicos revelaram que os grupos de PDT, independentemente do poder total, apresentaram níveis médios de UFC mais baixos do que os grupos 3 e 4 ( $p < 0,001$ ) e redução semelhante de contagens viáveis com o grupo 5. O tratamento combinado (grupo 6) promoveu redução adequada dos níveis  $\log_{10}$  UFC nas contagens viáveis. Entretanto, não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os grupos 1, 2, 5 e 6 e foi observada diferença significativa entre os grupos 3, 4 e 5 ( $p < 0,001$ ). Concluíram que PDT mediada por ICG ativada por um laser de diodo NIR forneceu uma desinfecção aumentada do

sistema de canais radiculares, mas o benefício geral na eliminação bacteriana total deve ser mais investigado.

Prazmo et al. (2017) analisaram a eficiência da terapia fotodinâmica na eliminação do biofilme intracanal de *Enterococcus faecalis*. Utilizaram 46 dentes intactos extraídos que foram infectados por *E. faecalis* e incubado por uma semana. Foram separados em grupos e realizados até o preparo químico com hipoclorito de sódio para a irrigação, e EDTA-T. O primeiro grupo foi colocado corante azul de toluidina, laser de diodo com o comprimento de onda de 635nm, por dois minutos de irradiação. O segundo grupo houve os mesmos parâmetros de irradiação, porém foi repetido todo o procedimento duas vezes. Os resultados do experimento foram baseados na UFC, o grupo que teve apenas uma aplicação teve uma redução com o PDT de 45% de colônias bacterianas, já o grupo que sofreu duas aplicações de PDT apresentou uma diminuição de 95% das colônias de bactérias presentes nos canais radiculares. Concluíram que a terapia fotodinâmica tem um alto potencial para eliminação de biofilme *Enterococcus faecalis*, além de não apresentar toxicidade aos tecidos periodontais, eliminando eficazmente os microrganismos organizados na estrutura do biofilme. Além disso não está associado com o risco de resistência bacteriana como a antibioticoterapia. Sendo assim a PDT, associada ao tratamento endodôntico apresentou uma maior taxa de sucesso deste tratamento.

### **3.1.2 Avaliação Histológica**

Lopez et al. (2015) avaliaram histologicamente o efeito da irrigação com Sterilox 400ppm, NaOCl a 2% e 5%, com e sem PAD, em tratamento de canal radicular de dentes de cão com AP. Dez cães foram separados aleatoriamente em dois grupos (n = 5): com e sem PAD, e os canais em quatro subgrupos, de acordo com a solução irrigadora: SX (Sterilox400 ppm), SH2 (NaOCl a 2%), SH5 (NaOCl a 5%) e SS (solução salina) como controle positivo. Um total de 134 canais radiculares foram abertos e expostos ao meio bucal por 14 dias e então selado por 60 dias para indução de periodontite apical. Então, os canais radiculares foram tratados de acordo com cada protocolo de desinfecção proposto e obturados na mesma sessão. Após 120 dias, os cães foram eutanasiados e os eventos inflamatórios periapicais foram avaliados sob microscopia ótica. Os dados qualitativos foram submetidos aos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney ( $\alpha = 0,05$ ). PAD não produziu diferenças

significativas nos escores de inflamação apical quando utilizado após preparo químico-mecânico ( $p > 0,05$ ). As soluções irrigadoras SX, SH2 e SH5 sem PAD foram estatisticamente diferentes do SS ( $p < 0,05$ ) que apresentou maiores pontuações para inflamação apical. PAD não mostrou qualquer efeito adicional para o tratamento de canais radiculares com necrose pulpar e periodontite apical em sessão única e Sterilox 400 ppm pode ser considerada uma alternativa ao hipoclorito de sódio no tratamento do canal radicular.

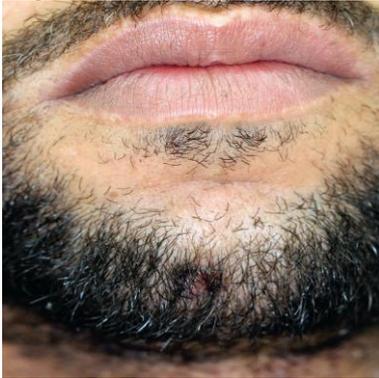
### 3.1.3 Casos Clínicos

Asnaashari et al. (2017) apresentaram um caso clínico de fistula cutânea extra oral com pus periódico e drenagem. O canal radicular foi limpo e modelado e então irrigado por solução salina normal e NaOCl a 2,5% agitados por dispositivos ultrassônicos. Foi realizado o protocolo de PDT com azul de metileno (0,01%) por 5 minutos e a irradiação com laser de Diodo (LED 630nm, Fotosan, Dinamarca) foi realizada. Foi utilizado o hidróxido de cálcio como curativo de demora por duas semanas e então o dente foi obturado com técnica de condensação (Guta percha & AH26) e o dente restaurado. Havia um sinal de cura da fístula extra oral em 2 semanas. Foi então aplicado o laser LLLT (diodo laser, Ga-AL-As, Dr. Smile, Italy) na fistula extra oral (laser de diodo infravermelho potência 0.3-0.4 W, 808 nm) por 30 segundos, realizando 15 sessões, sendo duas por semana. O paciente foi acompanhado por dois meses e o resultado do tratamento foi satisfatório. Acompanhamento de seis meses e doze meses mostraram reparação. Concluíram que a tecnologia a PDT é bem-sucedida para tratamento de lesões endodônticas.

Santos et al. (2017) afirmaram que mesmo após todos os processos de descontaminação do canal, ainda pode haver microrganismos resistentes e a PDT pode ser um coadjuvante importante no combate a estes microrganismos. Apresentaram dois casos clínicos utilizando a PDT. No primeiro caso, após os exames foi estabelecido diagnóstico de necrose pulpar, e abscesso perirradicular crônico, instituindo o tratamento endodôntico com o auxílio da Terapia Fotodinâmica utilizando azul de metileno a 0,005% no interior do conduto pelo tempo de pré-irradiação de 5 minutos e irradiação com laser vermelho (660nm, 320j/cm<sup>2</sup>, 100mw), através de fibra óptica, em movimentos helicoidais no interior do canal pelo tempo de um minuto e trinta segundos. No segundo caso, foi estabelecido o diagnóstico de

necrose pulpar e granuloma perirradicular, realizando o mesmo processo que o primeiro caso. Nos dois casos foram realizadas mais que uma sessão, observando uma melhora na significativa na segunda sessão. Após um ano, por meio de exames radiográficos demonstrou um restabelecimento do tecido ósseo. Conclui-se que a Terapia Fotodinâmica apresenta vantagens e pode ser utilizada junto com o tratamento convencional apresentando uma eficácia significativa (Figura 1).

Figura 1. Quadros ilustrando passos e evolução do tratamento.



Quadro 1. Fístula extrabucal.



Quadro 2. Radiografia de estudo.



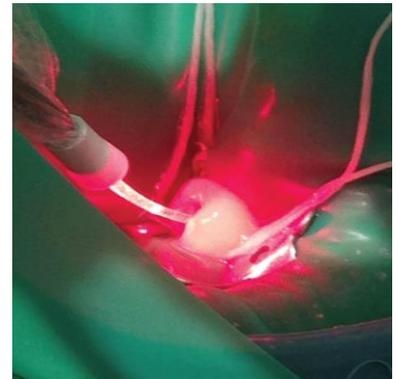
Quadro 3. Primeira sessão de PDT.



Quadro 4. Aspecto da fístula, 15 dias após o início da terapia endodôntica.



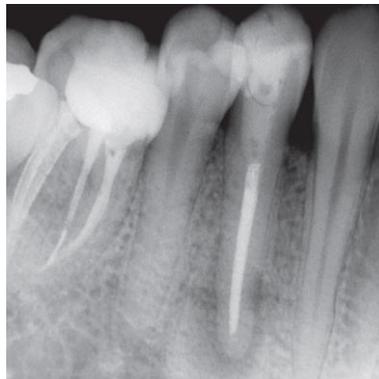
Quadro 5. Radiografia de controle após 1 ano.



Quadro 6. Sessão de PDT.



Quadro 7. Medicação intracanal.



Quadro 8. Radiografia de obturação.



Quadro 9. Radiografia de controle após dois anos.

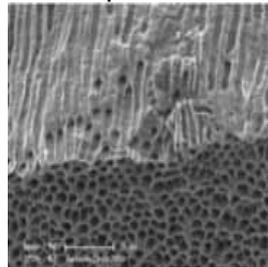
Fonte: Santos et al. (2017).

### 3.2 PHOTON INDUCED PHOTOACOUSTIC STREAMING (PIPS)

O *Photon Induced Photoacoustic Streaming* (PIPS), feixe de luz fotoacústico induzido por fótons, é um protocolo que utiliza o laser para ativar a substância química irrigante do canal radicular. Não há necessidade de o laser penetrar no canal radicular e não há aquecimento quando da ativação do irrigante. O laser cria

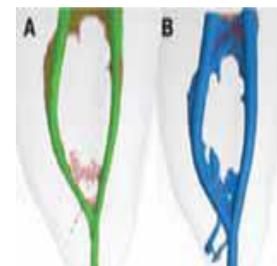
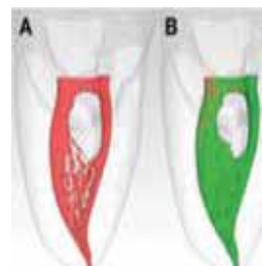
um fluxo tridimensional turbulento de irrigantes nos canais, ao promover explosões extremamente curtas de energia laser que são transmitidas aos irrigantes e direcionadas em direção apical, bombeando os restos de tecido para fora dos canais, promovendo limpeza e desinfecção de todo o sistema de canais. Este movimento é conseguido sem a necessidade de colocar a ponta de laser no canal, como nos sistemas manuais e ultrassônicos convencionais; em vez disso, a ponta do PIPS permanece na câmara pulpar apenas. Isto permite ao clínico desbridar e descontaminar melhor o sistema de canais radiculares sem a necessidade de reorganizar e ampliar o acesso aos canais (MALTERUD et al., 2013). Divito, et al. (2012) descreveram que PIPS usa um laser de Erbium com luz pulsada com níveis de energia extremamente baixos para gerar um choque fotoacústico, que é transmitido aos irrigantes por toda a raiz do canal.

Figura 2. Quadros ilustrando passos e evolução do tratamento.



Quadro 1. À esquerda, terço apical da raiz tratada com PIPS. Observe superfícies limpas sem qualquer dano térmico. À direita, terço apical, mostrando túbulos de dentina extremamente limpos após o PIPS, sem sinais de dano térmico.

Quadro 2. À esquerda, PIPS despojada usada para laser ativado irrigação. Direita, posição da ponta do laser na técnica PIPS: firme na polpa câmara e não entra no canal.



Quadro 3. À esquerda, pré-tratamento. À direita, obturação pós-tratamento após PIPS. Observe a forma de conveniência conservadora, mantendo uma anatomia mais original do sistema de canais radiculares e reduzindo a necessidade de intervenções maiores, conservando mais estrutura dentinária.

Quadro 4: À esquerda, sistema de canal molar mandibular mostrando istmo antes (A, canal vermelho) de irrigação ativada por laser PIPS. Áreas de tecido orgânico e detritos de instrumentação foram completamente eliminadas, como destacado pela imagem pós-PIPS (B, canal verde). À direita, molar mandibular com preparo do canal (A, canal verde) obturado com selador BC de nano partículas e obturação de cone único (B, azul).

Fonte: Divito, et al. (2012).

### 3.2.1 Limpeza do Canal Radicular

Divito et al. (2012) realizaram um estudo in vitro para avaliar em microscopia eletrônica de varredura (MEV) a capacidade e eficácia do laser Er:YAG na remoção do magma dentinário e desbridamento do canal radicular. Foram utilizados 80 dentes recém-extraídos preparados com sistema rotatório e irrigação química utilizando os lasers descritos. O laser Er:YAG foi utilizado com um comprimento de onda de 2.940 nm para irradiar a raiz dos canais. Após este processo os dentes foram divididos em 4 grupos (n=20) e tratados da seguinte maneira: Grupo 1 - irrigação com soro fisiológico por 2 min (Grupo Controle); Grupo 2 - irradiação a laser, ciclo de 20s (água destilada esterilizada); Grupo 3 - irradiação a laser, ciclo de 20s em EDTA a 17%; Grupo 4 - irradiação a laser, ciclo de 40s em EDTA a 17%. Os grupos 2, 3 e 4 foram irradiados com o laser Er: YAG 25mJ e 15 Hz com duração de pulso de 50µs e a ponta do laser foi usada na entrada do canal radicular molhado. No resultado Grupo 1 exibiu uma camada de magma espessa. Grupo 2 mostrou uma limpeza superior em comparação as amostras do Grupo 1. Grupo 3 apresentou melhora na limpeza e desbridamento em comparação aos outros grupos. O grupo 4 foi a que obteve a remoção mais efetiva de magma dentinário. Observaram também aumento mínimo na temperatura durante a irradiação. Concluíram que o laser Er:YAG é um método bom para desbridar o sistema de canais radiculares de forma minimamente invasiva, visto que ele não teve efeitos térmicos ou danos a superfície dentinária.

Arslan et al. (2014) compararam a ativação do irrigante por laser – PIPS com a ativação sônica, ultrassônica e irrigação convencional na remoção de pastas medicamentosas de um sulco artificial criado em um canal radicular. O preparo do canal radicular foi realizado até K# 40 em 84 dentes unirradulares extraídos usando instrumentos rotatórios ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Os espécimes foram então divididos longitudinalmente e 2 estrias padronizadas foram preparadas na parte coronária e apical de cada segmento. Dupla (DAP) e tripla pasta de antibiótico (TAP) foram colocadas nos sulcos por 4 semanas, e as metades da raiz foram reagrupadas. A irrigação por agulha, o sistema EndoActivator e o PIPS foram usados para a remoção do DAP e do TAP. Os segmentos radiculares foram desmontados, e a quantidade de pastas antibióticas remanescentes foi avaliada sob um estereomicroscópio a 20 graus de aumento utilizando um sistema de pontuação

de 4 graus. O PIPS removeu significativamente o antibiótico que o EndoActivator e irrigação por agulha ( $P < 0,001$ ). O EndoActivator foi superior à irrigação por agulha na remoção de pastas antibióticas ( $P < 0,001$ ). Não houveram diferenças estatisticamente significantes entre o DAP e o TAP e entre os terços coronário e apical em sua remoção de sulcos artificialmente criados ( $P > 0,05$ ). Concluíram que PIPS foi mais eficaz na remoção de DAP e TAP de sulcos artificiais em canais radiculares do que o sistema EndoActivator e irrigação por agulha. O EndoActivator também foi mais eficaz que a irrigação por agulha. É difícil remover completamente as pastas antibióticas dos canais radiculares.

Guneser et al. (2015) avaliaram o efeito da técnica de fluxo fotoacústico iniciado por fótons (PIPS) sobre a capacidade de dissolução tecidual da polpa com NaOCl e compará-la com o Sistema EndoActivator e o laser Er: YAG com ponta de fibra endodôntica. Amostras de tecido de polpa bovina ( $45 \pm 15\text{mg}$ ) e pó de dentina (10mg) foram colocados em tubos Eppendorf com 1mL de hipoclorito de sódio a 5,25% ou água destilada (controle) por 5 minutos com ativação pelo Sistema EndoActivator, o laser Er: YAG (2940nm, 1W, 50mJ e 20Hz) com ponta de fibra endodôntica e a técnica de PIPS (laser Er;YAG, 2940nm, 0,3W, 15Hz, 20mJ por pulso). O hipoclorito de sódio não ativado serviu como controle positivo. Todos os procedimentos de teste foram realizados à temperatura ambiente. As amostras de tecido foram pesadas antes e depois do tratamento, e a percentagem de perda de peso foi calculada. As diferenças foram analisadas estatisticamente. A maior taxa de dissolução do tecido foi observada no grupo NaOCl e Er: YAG ( $P < 0,05$ ). O grupo NaOCl e PIPS dissolveu mais tecido pulpar bovino do que o grupo NaOCl não ativado ( $P < 0,05$ ). Não houve diferença estatisticamente significativa entre as taxas de dissolução do tecido do NaOCl e EA e os grupos NaOCl não ativados ( $P > 0,05$ ). Concluíram que a ativação do NaOCl com o laser de Er: YAG com ponta de fibra endodôntica foi a mais efetiva na dissolução de tecido pulpar bovino. A técnica de PIPS também promoveu efeitos superiores de dissolução de tecido quando comparada com nenhuma ativação. No entanto, o sistema EndoActivator não teve efeito direto sobre a dissolução do tecido.

Lukac et al. (2017) apresentaram uma nova técnica para a utilização do PIPS, SWEEPS (transmissão de choque fotoacústica por emissão aprimoradas por ondas) para melhorar a eficácia de limpeza e descontaminação dos canais radicular através da ativação do irrigante por laser. Foram usadas duas formas para medir as

características de cavitação. Na primeira parte blocos de vidro acrílico foram submerso em água destilada e a ponta do laser Er:YAG posicionado ao centro com longa frequência e os pulsos de iluminações visualizados por um microscópico, com 10 a 30mm de comprimento sendo o PIPS convencional. A segunda utilizou uma sonda de deflexão de feixe de laser, em um bloco de alumínio submerso em água destilada com um comprimento de 25 mm, aplicado pela técnica SWEEPS. Comparando os tempos de oscilações das bolhas formadas com a ativação do laser, observaram que os números de ondas de choques ao longo do canal aumentam a eficácia da limpeza e promovem redução de microrganismos pela irrigação induzida por laser. Quanto maior a energia do laser maior é o aumento da bolha de cavitação, com isso as ondas de choque que tem que alcançar canais com mais de 25mm de profundidade tem uma desaceleração no efeito. Com a técnica nas condições do SWEEPS é duas vezes mais forte a pressão de irrigação e alcança a profundidade. Concluíram que a irrigação ativada por laser é capaz de aumentar a velocidade de onda dos irrigantes, conseguindo assim espalhar todo irrigante pelas paredes dos canais, promovendo a remoção do magma dentinário e a desinfecção do canal radicular. Porém pulsos únicos de laser não resultaram em uma completa emissão de onda dos irrigantes, enquanto que a técnica SWEEPS ofereceu uma maior concentração de ondas atingindo assim profundamente o canal radicular, aumentando assim a eficácia da terapia fotoacústica induzida.

### **3.2.2 Ação Antimicrobiana**

Jaramillo et al. (2012) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a eficácia de uma nova ponta de laser Er:YAG usando PIPS na raiz de canais infectados com *Enterococcus faecalis*. Vinte e quatro dentes humanos unirradiculares extraídos foram inoculados com *E. faecalis*, todos preparados pelo sistema rotatório. Foram separados em 4 grupos: dois Experimentais (Grupos A e B), um Controle Positivo (Grupo C) e um Controle Negativo (grupo D). O primeiro Grupo Experimental (Grupo A) consistiu de 8 dentes, quatro destes dentes (dentes 1 a 4; Grupo A1) foram previamente tratados com laser de Er: YAG e NaOCl 6% durante 20 segundos; enquanto o os 4 dentes restantes (dentes 5 a 8; Grupo A2) foram tratados com solução salina em vez de NaOCl, este grupo foi avaliado por Microscopia Confocal. O Grupo B (dentes 9-16) foi avaliado pelo uso de microscópio

eletrônico sem varredura, a primeira metade do grupo (9 a 12; Grupo B1) foi tratado com laser de Er: YAG e NaOCl 6% e a outra metade (13 a 16 – B2) tratada com laser de Er: YAG e PBS. O Grupo Controle Positivo (17 a 20; Grupo C) foi inoculado com *E. faecalis*, e dois dentes foram armazenados em PBS e os outros dois armazenados em Formalina a 4%. O Grupo Controle Negativo (21 a 24; Grupo D) foram todos revestidos com esmalte para prevenir a penetração bacteriana no canal radicular, os dois primeiros dentes foram examinados usando microscopia confocal e os outros dois usando MEV. Como resultados, foi observado que a irrigação ativada por laser com Er: YAG Laser e NaOCl 6% por 20 segundo mostraram 100% inibição de *E. faecalis* usando PIPS enquanto que alcançou 50% de inibição a combinação de Er: YAG Laser e PBS. Concluindo que as combinações de 20s de irradiação com o laser Er:YAG com o PIPS e NaOCl 6% é eficaz na inibição do crescimento *E. faecalis*. Podendo utilizar o PIPS como uma ferramenta coadjuvante ao tratamento convencional endodôntico.

Zhu et al. (2013) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar o efeito antibacteriano e sobre a remoção de magma dentinário do PIPS em comparação com a irrigação convencional na área apical dos canais radiculares. Para a análise microbiológica foram utilizados 48 dentes humanos unirradulares, que foram preparados e inoculados com *Enterococcus faecalis*, e depois divididos em 6 grupos. Depois os dentes foram submetidos a PIPS e hipoclorito de sódio a 3%, irrigação convencional com solução salina a 0,9%, NaOCl 3%, EDTA-T a 17%, clorexidina a 0,2% (CHX) e NaOCl 3% alternando com EDTA-T. Outros 48 dentes foram utilizados para comprovar a eficácia de remoção do magma dentinária. Não foi encontrado diferença significativa na redução de unidade formadora de colônia, a quantidade de magma dos grupos NaOCl, EDTA e PIPS mais NaOCl foram significativamente menores que os dos demais grupos no terço coronário e médio do canal radicular. Nenhum dos métodos pode efetivamente remover a camada de magma no terço apical. Concluíram que a irrigação com o auxílio do PIPS pode reduzir *E. faecalis* e a presença de magma dentinário na porção coronária e média da raiz, porém não consegue agir no terço apical.

Shahrani et al. (2014) realizaram um estudo para avaliar a eficácia da irrigação ativada por laser por meio de fluxo fotoacústico (PIPS) utilizando energia laser Er:Yag associado ou não com NaOCl 6% na descontaminação de canais radiculares inoculado com *Enterococcus faecalis*, argumentando que a irrigação

ativada por PIPS remove mais bactérias no espaço no canal radicular. Para esse fim foi utilizado 60 dentes humanos extraídos, preparados quimicamente e mecanicamente, esterilizados e inoculados com *Enterococcus faecalis*, e depois foram distribuídos em quatro Grupos: Grupo 1 - Controle, sem descontaminação; Grupo 2 - PIPS e NaOCl 6%; Grupo 3 – PIPS e salina; Grupo 4 – NaOCl 6%. A configuração do PIPS foi 50s de pulso, 20mJ, 15Hz, para uma potência média de 0,3W. Após o processo, todas as espécies foram coletadas e levadas para a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC). Nos resultados obtiveram as seguintes medias: Grupo 1,  $336,8 \pm 1,8$ ; Grupo 2,  $0,27 \pm 0,21$ ; Grupo 3,  $225,0 \pm 21$ ; Grupo 5,  $46,9 \pm 20,29$ . A diferença máxima pode ser vista somente do Grupo 2, no Grupo 3, a solução salina foi ativada pelo PIPS, e houve remoção de colônias *E. faecalis*, porém não tão significativa quanto quando associada ao hipoclorito de sódio. No Grupo 4 observou-se ainda uma significativa colonização. Concluíram que a irrigação utilizando o PIPS em conjunto com hipoclorito de sódio aumentou significativamente o efeito antimicrobiano, sugerindo que o PIPS é um método auxiliar promissor ao canal radicular.

Azim et al. (2016) buscaram determinar a eficiência de 4 sistemas de irrigação na eliminação de bactérias em canais radiculares, particularmente em túbulos dentinários. Raízes de dentes humanos foram preparadas com limas 25/04, autoclavadas e inoculadas com *Enterococcus faecalis* por 3 semanas. Os canais foram então desinfetados por (1) irrigação por agulha padrão, (2) agitação sônica com EndoActivator, (3) XP Endo Finisher, ou (4) laser de Er:YAG (PIPS) (15 raízes / grupo). A redução bacteriana no canal foi determinada por ensaios MTT. Para a contagem de bactérias vivas versus mortas nos túbulos dentinários (4 dentes / grupo), os dentes foram divididos e corados com BackLight LIVE / DEAD. Os terços coronários, médios e apicais da dentina do canal foram escaneados usando um microscópio de varredura a laser confocal (CLSM) para determinar a relação de bactérias mortas / totais nos túbulos dentinários em várias profundidades. Todos os 4 protocolos de irrigação eliminaram significativamente as bactérias no canal, variando a redução de 89,6% a 98,2% ( $P < 0,001$ ). XP Endo Finisher teve a maior redução bacteriana em comparação com outras 3 técnicas ( $P < 0,05$ ). A análise CLSM mostrou que o XP Endo Finisher apresentou o maior nível de bactérias mortas nos segmentos coronário, médio e apical a 50 $\mu$ m de profundidade. Por outro lado, o PIPS apresentou a maior eficiência de morte bacteriana na profundidade de

150µm em todos os 3 segmentos radiculares. Concluíram que o XP Endo parece ser mais eficiente que outras 3 técnicas na desinfecção do espaço do canal principal e até 50µm de profundidade nos túbulos dentinários. PIPS parece ser mais eficaz em matar as bactérias no fundo dos túbulos dentinários.

Jaramillo et al. (2016) realizaram um estudo para comparar o efeito antimicrobiano do NaOCl 0.5% ativado por PIPS e a irrigação convencional. Visto que as bactérias persistem após o tratamento levando a lesões refratárias, e o PIPS tem potencial para melhorar a limpeza e alcançar áreas inacessíveis do sistema do canal radicular. Para o estudo foi utilizado 48 pré-molares de canais únicos que foram limpos e modelados com instrumentação rotatória. Destes, 36 foram colocados em frascos de vidros com meio de infusão de *Enterococcus faecalis* por 4 semanas e as outras 12 raízes foram colocadas em um ambiente estéril servindo como Controle Negativo. As raízes contaminadas foram irrigadas com 0,5% de hipoclorito de sódio com ou sem ativação do PIPS (12 para cada grupo) e as restantes não receberam nenhum tratamento, sendo o controle positivo. As amostras foram coletadas e foi utilizado o teste U de Mann-Whitney para avaliar a eficácia do PIPS em comparação com o método convencional. Como resultado, os dois métodos reduziram significativamente o número de unidades formadoras de colônias, entretanto no grupo PIPS foi significativamente maior a redução, sendo mais eficaz na eliminação de *E. faecalis*. Concluíram que o PIPS aumentou a eficácia antimicrobiana da irrigação pois permite que a solução de irrigação alcance áreas normalmente inacessíveis a irrigação convencional.

### **3.2.3 Extrusão de Irrigante**

Arslan et al. (2015) realizaram um estudo com o objetivo de determinar o efeito da técnica PIPS em diferentes configurações de energia em extrair a solução irrigadora. Foram preparados 64 pré-molares extraídos, que receberam o preparo dos canais para então serem divididos aleatoriamente em 4 grupos (16 em cada). Em todos os grupos a taxa de fluxo da solução de irrigação foi constante e igual a 0,16ml/s. E foi realizado preparo manual até a lima 30. Grupo 1: irrigação convencional com a agulha aberta por 30s. Grupo 2: irrigação ultrassônica contínua por 30s. Grupo 3: PIPS a 0,3 W por 30s. Grupo 4: PIPS a 0,9 W por 30s. Como resultado de irrigante extruído o grupo 1 apresentou  $0,16 \pm 0,11$  g, grupo 2  $0,09 \pm$

0,11 g, grupo 3  $0,16 \pm 0,17$  g e grupo 4  $0,19 \pm 0,20$  g, sendo a maior quantidade de irrigante estruída no grupo 4 (0,9 W PIPS). Concluíram que todos as técnicas levaram a extrusão de solução irrigadora além do forame apical, porém o PIPS em ambos os grupos apresentou resultado semelhante a irrigação convencional e ultrassônica.

Arslan et al. (2018) observaram o efeito da técnica PIPS na extrusão de detritos usando limas únicas e múltiplas no preparo de canais curvos. Para este trabalho foram utilizados sessenta primeiros molares superiores com raízes mesiais curvas. Os dentes foram divididos em quatro grupos experimentais (15 dentes por grupo), Grupo 1: One Shape (SO) com irrigação ativada por PIPS; Grupo 2: SO com irrigação convencional por agulha (CNI); Grupo 3: ProTaper Next (PTN) com irrigação ativada por PIPS; Grupo 4: PTN com CNI. O PIPS e a CNI foram aplicadas durante cada troca de lima por 20s. A ativação da irrigação totalizou 1min. Os dentes foram levados para os tubos e armazenados a 68 graus por 5 dias e depois levados para obtenção dos resultados. O PIPS foi associado a significativamente mais extrusão de detritos do que a CNI. A lima única (SO) foi associada com mais detritos do que o sistema rotatório de limas múltiplas (PTN) quando o mesmo sistema de irrigação foi utilizado. Tendo o total de detritos extraído pela ativação de PIPS sido maior que o CNI. Concluíram que todos os sistemas de irrigação causaram extrusão de detritos, sendo o PIPS com maior extrusão do que o CNI. A ativação de PIPS pode ser recomendada pela irrigação final quando o preparo do canal for concluído.

## 4 DISCUSSÃO

A PDT é uma técnica que atua coadjuvante ao tratamento endodôntico, utilizada como alternativa para complementar a redução de microrganismos residuais nos canais radiculares após o desbridamento químico-mecânico, associando um laser de baixa potência a um corante (BUENO et al., 2017). Muhammad et al. (2015) em sua revisão, explica que o oxigênio singleto, liberado na PDT causa danos a membrana e DNA do microrganismo e os fotossensibilizadores tem grande seletividade, agindo sobre os microrganismos sem afetar as células viáveis do hospedeiro. Concluiu que a PDT é um adjuvante no tratamento endodôntico, devendo ser utilizado após o preparo do canal, por melhorar a descontaminação, sobretudo em casos de biofilme com monoespecies, como acontece em infecções persistentes. Afirmou também que uma fibra ótica difusora pode melhorar o alcance do laser e que o LED é promissor por promover uma irradiação multidirecional enquanto o laser diodo convencional é unidirecional. Além disso a PDT tem a vantagem de não ser seletiva, agindo em todos os microrganismos além de não gerar resistência bacteriana.

Os estudos observando redução de microrganismos resistentes após o uso da PDT tem apresentado resultados conflitantes. *Enterococcus faecalis*, microrganismo comumente relacionado a infecções persistentes, foi utilizado em diversos estudos microbiológicos. Considerando o tipo de laser utilizado observou um efeito superior na redução microbiana de *E. faecalis* utilizando o laser de diodo de baixa potência (100mW, 60s) na PDT com azul de toluidina e cloreto de fenotiazina comparada a irradiação com o laser de diodo de alta potência, sem apresentar diferenças com o uso de diferentes fotossensibilizadores e fibras óticas (BAGO et al. 2012). Quando o laser de diodo foi comparado ao laser de Neodímio o primeiro apresentou efeito superior na PDT (GERGOVA et al., 2016). Quando foi comparada a PDT com emissor de luz diodo (LED) de 630nm e um laser de diodo com comprimento de onda de 810nm, observaram que os dois métodos utilizados chegaram a resultados positivos, mas o PDT associado a luz LED foi mais eficaz na redução bacteriana que o PDT com laser de diodo (ASNAASHARI et al., 2016). Já o tempo de irradiação foi indiferente na redução microbiana considerando 1, 2 e 4 minutos no trabalho de Yildirim et. al. (2013), que usaram o PDT com azul de metileno e irradiação de laser de diodo (600nm), apresentando todos os grupos

resultados satisfatórios enquanto que Prazmo et. al. (2017) utilizando o laser de Diodo (635 nm) com azul de toluidina por dois minutos e comparando com duas aplicações por dois minutos observaram um aumento na porcentagem de redução bacteriana de *Enterococcus faecalis* de 45% para 95%.

Oliveira et al. (2015) observaram que após o preparo com lima única (Reciproc) apenas a utilização da PDT utilizando o laser de Diodo (100mW 660nm) com azul de metileno não conseguiu redução bacteriana em canais infectados com *E. faecalis*, *P. aeruginosas*, *S. aureus* e *C. albicans*, sendo necessário associar a irrigação com NaOCl para observar redução, sendo que para *E. faecalis* só houve redução com o NaOCl na concentração de 5,25% enquanto que para os demais microrganismos a concentração a 1% já foi suficiente. É importante mencionar que, exceto para *E. faecalis*, apenas a irrigação com NaOCl a 5,25% já promoveu redução bacteriana.

A ação isolada dos fotossensibilizantes da PDT foi observada por Beltes et al. (2016), que em seu estudo ele avaliou o efeito antimicrobiano da PDT utilizando idocianina verde (ICG) como fotossensibilizante e laser de diodo infravermelho (NIR) observando que apenas o fotossensibilizador ou o laser isoladamente não promoveram redução microbiana significativa de *E. faecalis* sendo a maior redução obtida com a PDT associada a irrigação com NaOCl a 1%, seguida pela irrigação com NaOCl a 2% apenas e depois os grupos de PDT sem diferença entre eles. Nos resultados de Bago et al. (2012) foi observado que, em contrapartida, um resultado superior da PDT sobre a irrigação com NaOCl a 2,5% e um resultado semelhante a irrigação com ativação ultrassônica. Entretanto os resultados de Gergova et al. (2016) também apontam um resultado superior para os irrigantes antissépticos comparados a PDT na redução microbiana. Estes autores observaram um efeito superior do NaOCl a 2,5%, tendo uma ação efetiva sobre microrganismos Gram Positivos e Negativos, somente comparável ao efeito da clorexidina. Observaram grande resistência de *P. aeruginosa* que não foi erradicada por nenhum método e que a ação da PDT assim como a iontoforese teve uma forte ação contra os microrganismos Gram Positivos, sem distinção entre eles. Isso vem reforçar a ideia de se utilizar a PDT como um coadjuvante na desinfecção, devendo ser precedida pela irrigação final sob agitação, utilizando substâncias antissépticas.

Ao observar a reação inflamatória em dentes de cães que apresentavam infecção apical e foram tratados em sessão, Lopez et al. (2015) observaram um

efeito benéfico da irrigação com soluções antissépticas ao final do preparo, entretanto a irradiação com laser associada a um fotossensibilizador não resultou em influencia no grau de inflamação apical após a obturação dos canais.

Estudos mostraram que a PDT é apropriada para as lesões persistentes, lesões que não alcançam a reparação mesmo após o tratamento endodôntico convencional. Asnaashari et al. (2017) relatou um caso clínico que o paciente apresentava trato extra sinusal com pus periódico e drenagem, e quando foi dado o diagnóstico, foi tratado com NaOCl a 2,5% usando dispositivos ultrassônicos. Foi utilizado PDT com azul de metileno (0,01%) por 5min e irradiação com comprimento laser de diodo (LED 630nm, FotoSan, Dinamarca). Feito isso foi aguardado duas semanas para a obturação. O paciente teve acompanhamento de 6 em 6 meses, obtendo um resultado satisfatório. E Santos et al. (2017) relataram dois casos clínicos, o primeiro teve como com o diagnóstico necrose pulpar e abscesso perirradicular crônico, instituindo o tratamento endodôntico com o auxílio da PDT, foi utilizado o corante azul de metileno a 0,005% no interior do conduto pelo tempo de pré-irradiação de 5min, para posterior ativação com laser no comprimento de onda vermelho 660nm, densidade de energia 320j/cm<sup>2</sup>, potência de 100mw, através de fibra óptica, em movimentos helicoidais no interior do canal pelo tempo de 1min e 30s. No segundo caso, foi estabelecido o diagnóstico de necrose pulpar e granuloma perirradicular, realizando o mesmo processo que o primeiro caso. Nos dois casos foram realizadas mais que uma sessão, observando uma melhora na significativa na segunda sessão. Após um ano, por meio de exames radiográficos demonstrou um restabelecimento do tecido ósseo. Portanto com estes casos clínicos apresentados, observamos a efetividade do PDT com resultados convincentes e benéficos para o paciente.

A PIPS tem o objetivo de promover a limpeza e desinfecção complementar do sistema de canais radiculares. Este efeito é promovido pela propagação de ondas na substancia irrigadora, o que potencializa a sua ação (BUENO et al., 2017). Para a sua aplicação não é necessário a ampliação do canal radicular já que a ponta do laser é aplicada na câmara pulpar. Divito (2013) obteve resultados positivos usando PIPS com laser de Erbium (2.940nm, 25mJ, 15Hz e pulso de 50µs), sendo que a sua associação com o EDTA a 17% promoveu uma maior remoção de magma dentinária, quando utilizado por 40 segundos, confirmado por MEV, isso de forma minimamente invasiva, sem promover efeitos térmicos ou danos a superfície

dentinária. Também no trabalho de Guneser a PIPS foi capaz de ampliar a dissolução de tecido orgânico ao ser associada ao hipoclorito de sódio a 5,25%, tendo um efeito superior a ativação sônica. A incorporação da técnica SWEEPS a PIPS aumentou a eficiência desta última no trabalho de Lukac et al. (2017). O autor explica que normalmente, as ondas de choque não são emitidas durante a irrigação assistida por laser de canais radiculares espacialmente confinados. No entanto, ao utilizar a nova modalidade SWEEPS, consegue-se uma aceleração do colapso das bolhas induzidas pelo laser, levando à emissão de ondas de choque também em canais radiculares estreitos. As ondas de choque primário emitidas que atingem a camada de *smear* em velocidades supersônicas e os fluxos de cisalhamento criados pelo rápido colapso das bolhas secundárias perto das paredes do canal aumentam a eficácia de limpeza e desinfecção da irrigação induzida por laser.

Os trabalhos avaliando a redução microbiana de *Enterococcus faecalis*, microrganismo comumente encontrado em infecções persistentes são unânimes em apresentar resultados positivos na redução deste microrganismo nos canais radiculares após a ativação de substâncias antissépticas e quelantes com PIPS na irrigação realizada após o preparo do canal. Jaramillo et al. (2012) atingiram 100% de inibição deste microrganismo ao associar o NaOCl a 6% ao PIPS, enquanto que com a solução salina só houve uma redução de 50%, resultado semelhante ao alcançado por Shahrami et al. (2014) e Jaramillo et al. (2015) que utilizou o NaOCl na concentração de 0,5%. Já os resultados obtidos por Zhu et al. (2013) levaram estes autores a concluir que o PIPS associado ao NaOCl e a irrigação convencional com NaOCl e EDTA são comparáveis em sua capacidade de remover *E. faecalis* e *smear layer* em canais radiculares. Azim et al. (2016) observou que a irrigação com NaOCl ativada pelo instrumento XP Endo Finisher agiu melhor na luz do canal que a PIPS, entretanto este último agiu em uma profundidade maior nos túbulos dentinários. Concluíram então que a irrigação com PIPS apresenta um efeito importante na redução de *Enterococcus faecalis*, o que pode ampliar a taxa de sucesso no tratamento.

A extrusão de solução irrigadora e detritos através do forame apical pode resultar em maior inflamação dos tecidos periapicais ao final do preparo químico cirúrgico e retardar a reparação após o tratamento endodôntico. Os resultados observando este ponto foram conflitantes. No trabalho de Arslan et al. (2015) a extrusão de irrigantes foi semelhante para a PIPS e a irrigação convencional e

ativada por ultrassom, enquanto que os resultados obtidos por Arslan et al. em (2018) apontam para uma maior extrusão de detritos com o uso da PIPS que a irrigação convencional, sendo que no primeiro foi utilizado preparo manual até a lima 30 e no segundo caso foi utilizado lima única.

O protocolo para a utilização da PDT variou de autor para autor, sendo que a maioria associou laser de diodo com comprimento de onda 630nm na potencia de 100 a 120mW, e o corante associado variou entre o azul de metileno na concentração de 0,01 a 0,005% e o azul de toluidina (BAGO et al 2012, YILDIRIM et al 2013, ASNAASHARI et al 2016, OLIVEIRA et al 2015, GERGOVA et al 2016, BELTES et al 2017, PRAZMO et al 2017, ASNAASHARI et al 2017, SANTOS et al 2017). E o PIPS o protocolo também variou de autor para autor utilizando o laser ER:YAG no comprimento de 2.940nm com a potência de 0,3W, 15Hz e 20mJ com a solução irrigadora variando entre NaOCl, EDTA-T, solução salina e clorexidina (DIVITO et al 2012, ARSLAN et al 2014, GUNESER et al 2015, LUKAC et al 2017, JARAMILLO et al 2012, ZHU et al 2013, SHAHRANI et al 2014).

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos nesta revisão, e considerando também as limitações apresentadas, pode-se concluir que:

1. A PDT tem um efeito antimicrobiano comprovado, sobretudo em bactérias resistentes, não afetando o hospedeiro e não criando resistência antimicrobiana, devendo ser utilizada como terapia complementar após o preparo químico cirúrgico do canal, devendo ser precedida pela irrigação final sob agitação com hipoclorito de sódio; E o protocolo mais utilizado foi o laser de diodo a 660nm, 100 a 120mW associado ao corante azul de metileno.
2. O PIPS melhora a ação das substâncias químicas na descontaminação do canal, na dissolução tecidual e na remoção do magma dentinário, permitindo a ação das substâncias em profundidade nos túbulos, sendo um meio eficaz de ativação da substância química auxiliar; E o protocolo que se destacou foi o laser ER:YAG a 2.940nm, com a potência 0,3W, 15Hz e 20mJ com a substância irrigadora o NaOCl.

## REFERÊNCIAS

1. Arslan D, Kustarci A. Efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming on apically extruded debris with different preparation systems in curved canals. *International Endodontic Journal*. 2018; 51:65-72.
2. Arslan H, Akcay M, Capar ID, Ertas H, Ok E, Uysal B: Efficacy of needle irrigation, EndoActivator, and photon-initiated photoacoustic streaming technique on removal of double and triple antibiotic pastes. 2014; 40 (9):1439-1442.
3. Arslan H, Capar ID, Saygili G, Gok T, Akcay M. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International Endodontic Journal*. 2015; 47(11):1072–1077.
4. Asnaashari M, Ghorbanzadeh S, Azari-Marhabi S. Laser assisted treatment of extra oral cutaneous sinus tract of endodontic origin: a case report. *J Lasers Med Sci*. 2017; 8(1):68-71.
5. Asnaashari M, Mojahedi SM, Asadi Z, Azari-Marhabi S, Maleki A. A comparison of the antibacterial activity of the two methods of photodynamic therapy (using diode laser 810nm and LED lamp 630nm) against *Enterococcus faecalis* in extracted human anterior teeth. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*. 2016; 13:233-237.
6. Azim AA, Hacer A, Tingting Z, Terry M, Jegdish PB, et al. Efficacy of 4 Irrigation Protocols in Killing Bacteria Colonized in Dentinal Tubules Examined by a Novel Confocal Laser Scanning Microscope Analysisanalysis. *Journal of endodontics*, 2016; 42(6):928-934.
7. Bago I, Plečko V, Gabriel PD, Schauperl Z, Baraba A, et al. Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *International Endodontic Journal*. 2012; 46(4):339-347.

8. Beltes C, Economides N, Sakkas H, Papadopoulou C, Lambrianidis T. Evaluation of antimicrobial photodynamic therapy using indocyanine green and near-infrared diode laser against enterococcus faecalis in infected human root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2017; 35(5):264-269.
9. Bueno CES, Pelegrine RN. *Excelência em Endodontia Clínica*. 1ed. São Paulo: Quintessence. 2017.
10. Divito E, Colonna MP, Olivi G. The Photoacoustic Efficacy of an Er:YAG Laser with Radial and Stripped Tips on Root Canal Dentin Walls: An SEM Evaluation, *J Laser Dent*. 2011; 19(1):156–161.
11. Divito E, Olive G. Improving Your Outcomes Using Laser Activated Irrigation. *Oral Health* [internet]. 2013 Nov 1. [cited 2018 Set 2] Available from: <https://www.oralhealthgroup.com/features/pips-improving-your-outcomes-using-laser-activated-irrigation/>
12. Divito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in medical Science*. 2012; 27(2) 273-280.
13. Gergova RT, Gueorgieva T, Dencheva-Garova MS, Panova AZ, Kalchinov V, et al. Antimicrobial activity of different disinfection methods against biofilms in root canals. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*. 2016; 7 (3): 254–262.
14. Guneser MB, Arslan D, Usumez A. Tissue Dissolution Ability of Sodium Hypochlorite Activated by Photon-initiated Photoacoustic Streaming Technique. *J Endod*. 2015; 41(5):729–732.
15. Jaramillo DE, Aguilar E, Arias A, Zapata RO, Aprecio RM, et al. Root canal disinfection comparing conventional irrigation vs photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) using a buffered 0.5 % sodium hypochlorite solution. *Evidence-Based Endodontics*. 2016; 1(1):6.

16. Jaramillo DE, Aprecio RM, Angelov N, Divito E, McClammy TV. Efficacy of photon induced photoacoustic streaming (PIPS) on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: A pilot study. *Endodontic practice*. 2012; 5(3): 28-32.
17. Lopez FU, Kopper PMP, Bonas AD, Steier L, Figueiredo JAP, et al. Effect of Different Irrigating Solutions and Photo-Activated Therapy for In Vivo Root Canal Treatment. *Revista Odontológica Brasileira*. 2015; 26(3): 228-233.
18. Lukac N, Muc BT, Jezersek M, Lukac M. Photoacoustic Endodontics Using the Novel SWEEPS Er:YAG Laser Modality. *Journal of the laser and health academy*. 2017; 1:1-7.
19. Machado MDL. *Endodontia Ciência e Tecnologia*. 3ed. São Paulo: Quintessence. 2017, p. 318.
20. Malterud M. Minimally invasive biomimetic endodontics: the future is here. *General Dentistry*. 2013; 61(1):8-10.
21. Muhammad OH, Rocca J-P, Fornaini C, Medioni E. Evolution of the role of phototherapy during endodontic decontamination. *Laser Therapy*. 2015; 24(4): 291-302.
22. Oliveira BP, Aguiar CM, Câmara AC, de Albuquerque MM, de Barros Correia ACR, Soares MFDLR. The efficacy of photodynamic therapy and sodium hypochlorite in root canal disinfection by a single-file instrumentation technique. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2015; 12(3): 436-443.
23. Prażmo EJ, Godlewska RA, Mielczarek AB. Effectiveness of repeated photodynamic therapy in the elimination of intracanal *Enterococcus faecalis* biofilm: an in vitro study. *Lasers in Medical Science*. 2017; 32 (3) 655-661.
24. Santos KRR, Ravazzi TPQ, Silva RV, Pereira RP. The importance of photodynamic therapy for decontamination of the root canal system: case reports. *Dental Press Endod*. 2017; 7(3):14-21.

25. Shahrani MA, Divito E, Hughes CV, Nathanson A, Huang GTJ. Enhanced Removal of *Enterococcus faecalis* Biofilms in the Root Canal Using Sodium Hypochlorite Plus Photon-Induced Photoacoustic Streaming: An In Vitro Study. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2014; 32(5):260-266.
26. Yildirim C, Karaarslan ES, Ozsevik S, Zer Y, Sari T, et al. Antimicrobial efficiency of photodynamic therapy with different irradiation durations. *Eur J Dent*. 2013; 7(4):469-473.
27. Zhu X, Yin X, Chang JWW, Wang Y, Cheung GSP, et al. Comparison of the Antibacterial Effect and Smear Layer Removal Using Photon-Initiated Photoacoustic Streaming Aided Irrigation Versus a Conventional Irrigation in Single-Rooted Canals: An In Vitro Study. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2013; 31(8):371-377

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desta obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Julia Fernanda da Silva

Thais Almeida da Silva Souza

Taubaté, novembro de 2018