



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

EMILY EDUARDO DA SILVA CARVALHO

INFLUÊNCIA DA CURVATURA RADICULAR E PROTOCOLOS DE
IRRIGAÇÃO NA REMOÇÃO DE DEBRIS DENTINÁRIOS EM CANAIS
COM ISTMOS

RIBEIRÃO PRETO

2019

Emily Eduardo da Silva Carvalho

INFLUÊNCIA DA CURVATURA RADICULAR E PROTOCOLOS DE
IRRIGAÇÃO NA REMOÇÃO DE DEBRIS DENTINÁRIOS EM CANAIS
COM ISTMOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração Endodontia.

Versão corrigida.

Orientadora: Profa. Dra. Graziela Bianchi Leoni

Ribeirão Preto

2019

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

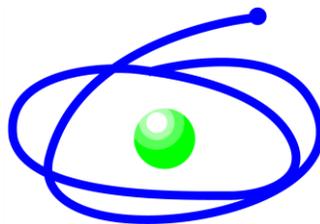
C331i Carvalho, Emily Eduardo da Silva, 1988-
Influência da curvatura radicular e protocolos de irrigação na
remoção de debrís dentinários em canais / Emily Eduardo da Silva
Carvalho. - - Ribeirão Preto, 2019.
40 f.: il. color.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Graziela Bianchi Leoni.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Odontologia, área de concentração: Endodontia. Ribeirão
Preto, 2019.

1. Istmo. 2. Debrís dentinários. 3. Curvatura radicular.
4. Microtomografia. 5. Irrigação. I. Título.

CDD 617.6342



C A P E S



Este trabalho foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto e apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – PROSUP

DEDICATÓRIAS

Dedico esse trabalho primeiramente à Deus que iluminou meu caminho durante esta jornada fazendo com que Teus planos sejam sempre maiores que meus sonhos.

Aos meus avós **Ilda Pedro de Carvalho** e **José Tavares de Carvalho** por serem exemplos de caráter e dignidade e me ajudando com palavras de conforto nas horas em que mais precisei.

A minha avó **Doralina Pereira da Silva** (*in memoriam*), pela importância com que ela tratava os estudos de seus netos conseguindo passar sua sabedoria por gerações, meu obrigada com todo amor e carinho.

Aos meu pais, minha mãe **Telma Eduardo da Silva Carvalho** que foi meu maior apoio nos momentos de angústia e meu pai **Eduardo Pedro de Carvalho** que fez de tudo para que a pós-graduação se tornasse um sonho possível, sem eles nada se realizaria.

Ao meu irmão **Eduardo Pedro de Carvalho Filho** e minha cunhada **Isabella Duarte Oliveira** que sempre estiveram ao meu lado me incentivando e me ajudando nos trabalhos em que tinha que realizar na pós-graduação e durante toda a vida.

Ao meu noivo **Erick Ricardo Silva** que nas horas difíceis teve paciência e sabedoria para me ouvir, ajudar e aconselhar da melhor maneira possível e sempre acreditou em mim.

À minha prima **Mariana Stefani de Carvalho** pelo carinho e atenção de sempre me ajudar nos trabalhos, com doações e incentivos para que eu realizasse essa etapa.

À toda minha família pelo apoio e incentivo ao longo desses dois anos de pós-graduação compartilhando momentos de alegrias, tristezas e ansiedade.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Ribeirão Preto, na pessoa da sua Magnífica Reitora **Profa. Elmara Lúcia de Oliveira Bonini**, personalidade constante e pioneira na educação nacional. Obrigado pela oportunidade de poder concretizar mais esse sonho.

À Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto, **Profa. Dra. Yara Teresinha Corrêa Silva Sousa**, por todo ensinamento, atenção e amizade. Agradeço por esses anos de convivência, que me fez amadurecer e admirar o seu trabalho. Eternamente grata!

À minha orientadora **Profa. Dra. Graziela Bianchi Leoni**, pela paciência que teve comigo ao longo desses dois anos, pela amizade e pelo conhecimento concedido à mim nesse período.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto: **Profa. Dra. Andrea Márcia Marcaccini, Prof. Dr. Carlos Eduardo Saraiva Miranda, Profa. Dra. Danielle Cristine Furtado Messias, Prof. Dr. Edson Alfredo, Profa. Dra. Érica Alves Gomes, Prof. Dr. Fuad Jacob Abi Rached Júnior, Profa. Dra. Graziela Bianchi Leoni, Profa. Dra. Izabela Cristina Maurício Moris, Profa. Dra. Larissa Moreira Castro Raucci, Prof. Dr. Sílvio Rocha Correa da Silva, Prof. Dr. André Pitondo da Silva, Prof. Dr. Walter Raucci Neto**, pela presteza, dedicação, atenção e suporte à aprendizagem a todos os alunos do curso que quando precisavam, sempre estavam à disposição de repassar os seus conhecimentos.

Aos meus colegas de pós-graduação, **Natália Spadini de Faria, Ana Flávia Simões Barbosa, Natália Tavella e Luciana Macedo** por todos os momentos vividos, pelo incentivo em cada etapa do meu trabalho e companheirismo, proporcionando uma ótima convivência.

A colega, **Victoria Gabriela Louzada**, por dispor de seu tempo e paciência em me ajudar no término do trabalho realizado.

Às secretárias da pós-graduação, **Joana Néia Vieira, Patrícia Machado e Marcela Euzébio Berti**, pela atenção, amizade e convívio que dispensaram durante esses anos.

Aos amigos e funcionários da Universidade de Ribeirão Preto, **Fabíola Domenes Sousa, Luís Murilo de Oliveira, Evaldo Antonio Evangelista, Joice Alessandra Cerri da Costa, Heloisa Paschoalini, Raquel Aparecida Lança** e por todos os bons momentos que estivemos juntos, pela atenção e carinho que dispensaram durante estes anos de convívio.

“O sucesso não é necessário para a felicidade. A felicidade é necessária para o sucesso. Se voce ama o que faz, voce terá sucesso.”

Albert Schweitzer.

Sumário

Resumo

Abstract

1. Introdução	10
2. Proposição	13
3. Material e Métodos.....	14
4. Resultados.....	32
5. Discussão.....	35
6. Conclusões.....	41
7. Referências Bibliográficas.....	42

Anexo

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar, quantitativa e qualitativamente, por meio de microtomografia computadorizada, a influência da severidade da curvatura radicular na remoção de debris dentinários acumulados (DDA) no terço apical de canais radiculares com presença de istmo submetidos à diferentes protocolos de irrigação final. Molares inferiores foram escaneados em microtomógrafo e selecionados 100 dentes com sistema de canais tipo I de Vertucci (1984). A curvatura das raízes mesiais foi verificada pelo método de Schneider categorizando estas raízes em dois grupos (n=16): curvatura moderada ($\leq 20^\circ$) e curvatura severa ($>20^\circ$). O preparo biomecânico foi realizado com sistema Protaper Next (PTN) até instrumento X2 (#25.06). Em seguida, os espécimes foram submetidos ao exame microtomográfico pós-preparo e foi verificado o percentual de volume de DDA no terço apical em relação ao volume do canal neste terço (%vol). A composição dos grupos experimentais foi realizada por meio da técnica de amostragem estratificada de acordo com a morfologia interna, curvatura radicular e %vol DDA em dois subgrupos de acordo com o protocolo de irrigação final (n=8): irrigação ultrassônica (PUI) e XP-endo Finisher (XPF). Os espécimes foram submetidos ao exame microtomográfico pós-irrigação e avaliados em relação ao percentual de remoção de DDA no terço apical. Os resultados da análise de variância a dois critérios evidenciaram que o percentual de remoção de DDA foi estatisticamente diferente entre curvatura moderada e severa ($p=0,05$) sendo observado interação entre os fatores de severidade de curvatura e protocolos de irrigação final ($p<0,05$). Na curvatura moderada, o protocolo de irrigação com PUI apresentou maior remoção de DDA ($90,79\pm 3,33\%$) comparado ao protocolo com XPF ($71,18\pm 17,12\%$) ($p<0,01$). Para curvatura severa, o protocolo com XPF apresentou melhor efetividade de remoção de DDA ($86,98\pm 12,23\%$) comparado ao protocolo com PUI ($52,97\pm 21,08\%$) ($p<0,05$). Qualitativamente, observou-se que, os DDA remanescentes se localizaram concentrados principalmente nas áreas polares do canal após a PUI, e em partículas menores distribuídas de forma mais dispersa após protocolo com XPF. Conclui-se que a severidade da curvatura radicular tem influência na redução de DDA em canais com istmo, sendo o protocolo de irrigação final com PUI mais efetivo na remoção de DDA em curvatura moderada e o protocolo de irrigação final com XPF em curvatura severa.

Palavras-chave: Istmo. Curvatura radicular. Debris dentinários. Irrigação. Microtomografia.

Abstract

The aim of the present study was to quantitatively and qualitatively evaluate the influence of radicular curvature severity on the removal of accumulated hard-tissue debris (AHTD) in the apical third of root canals with presence of isthmus submitted to different final irrigation protocols. For this, mandibular molars were scanned in microcomputed tomography and 100 teeth with Vertucci's type I canal system (1984) were selected. After that, the curvature of the mesial roots was verified by the Schneider method, categorizing these roots into two groups ($n = 16$): moderate curvature and severe curvature. The canal instrumentation of both groups was performed with ProTaper Next (PTN) system up to X2 instrument (#25.06). Afterwards, the specimens were submitted to the post-preparation microcomputed tomography exam and the percentage of AHTD volume in the apical third was analysed in relation to the volume of the canal in this third (%vol). From this, the composition of the experimental groups was performed using the stratified sampling technique according to the internal morphology, root curvature and %vol AHTD in two subgroups according to the final irrigation protocol ($n = 8$): ultrasonic irrigation (PUI) and XP-endo Finisher (XPF). The specimens were then submitted to post-irrigation microcomputed tomography exam and evaluated in relation to the percentage of AHTD removal in apical third. The results of the ANOVA two-way showed that the percentage of AHTD removal was statistically different between moderate and severe curvature ($p=0.05$). The interaction between curvature severity and final irrigation protocols was observed ($p<0.05$). In the moderate curvature, the final irrigation protocol with PUI presented greater removal of AHTD ($90.79 \pm 3.33\%$) compared to the protocol with XPF ($71.18 \pm 17.12\%$) ($p<0.01$). For severe curvature, the XPF protocol presented better AHTD removal efficiency ($86.98 \pm 12.23\%$) compared to the PUI protocol ($52.97 \pm 21.08\%$) ($p<0.05$). Qualitatively, it was observed that the AHTD remaining were concentrated mainly in the polar areas of canal after PUI, and in smaller particles distributed more sparsely after XPF protocol. It was concluded that severity of radicular curvature has an influence on the reduction of AHTD, with the final irrigation protocol with PUI more effective in the removal of AHTD in moderate curvature and the final irrigation protocol with XPF in severe curvature.

Keywords: Isthmus. Radicular curvature. Hard-tissue debris. Irrigation. Microcomputed tomography

1 Introdução

Um importante avanço clínico na Endodontia foi a progressão da utilização de uma longa série de instrumentos manuais de aço inoxidável para a utilização de instrumentos endodônticos confeccionados com liga metálica de níquel-titânio (NiTi). O principal diferencial destes instrumentos foi a possibilidade do preparo mecânico de canais curvos por cinemática de rotação contínua (RUDDLE et al., 2015).

Assim, a partir do advento e comercialização dos primeiros instrumentos endodônticos de NiTi na década de 90, tem surgido inúmeros conceitos, estratégias e técnicas para o preparo mecanizado dos canais radiculares (RUDDLE et al., 2015; SOUSA-NETO et al., 2018) com desenvolvimento de instrumentos com diferentes designs, cinemáticas e tratamentos da liga NiTi (DE-DEUS et al., 2019; DUQUE et al., 2017; ESPIR et al., 2018; GUIMARÃES et al., 2017; KELES et al., 2016; LOPES et al., 2017; SOUSA-NETO et al., 2018).

Entretanto, apesar da evolução dos instrumentos e técnicas para o preparo biomecânico, no que se refere a ação mecânica dos instrumentos, estudos recentes por meio de microtomografia computadorizada (micro-CT) mostram que nenhum sistema ou técnica é capaz de tocar todas as paredes do canal radicular, mostrando uma variação de 2,6% a 80% de paredes não tocadas após o preparo (BUSQUIM et al., 2015; DE-DEUS et al., 2015^a; GUIMARÃES et al., 2017; GAGLIARD et al., 2015; GERGI et al., 2015; LACERDA et al., 2017; LOPES et al., 2017; MARCELIANO-ALVES et al., 2015; ZUOLO et al., 2018). Esta limitação se torna ainda mais crítica em áreas de desafios anatômicos como istmos, reentrâncias e achatamentos do canal radicular (BURKLEIN et al., 2013; HAUPT et al., 2019; SILVA et al., 2019; STRINGHETA et al., 2019) o que poderia contribuir para manutenção de tecido pulpar e bactérias resultando em potencial causa da persistência de infecção no sistema de canais radiculares (SCR) (SIQUEIRA, et al., 2013; SIQUEIRA, RÔÇAS, 2008; VERTUCCI, 2005) e, conseqüentemente, insucesso do tratamento.

Vale destacar que o preparo biomecânico ocorre por meio mecânico com ação dos instrumentos no corte da dentina radicular; por meio físico, que compreende a movimentação hidráulica da solução irrigante; e por meio químico que corresponde à ação das propriedades químicas que as soluções irrigantes

apresentam. Sendo assim, os meios químicos e físicos são auxiliares do mecânico nesse processo (HÜBSCHER et al., 2003; LEONI, et al., 2017; ZUOLO, et al., 2018).

Nesse sentido, a fim de complementar a ação mecânica limitada dos instrumentos na limpeza do SCR, é evidente a necessidade de novas estratégias para melhorar o desempenho no procedimento de irrigação, considerando maior efetividade na suas ações física e química; assim como da medicação intracanal (HÜBSCHER et al., 2003; LEONI, et al., 2017; ZUOLO, et al., 2018), especialmente em SCR com presença de desafios anatômicos.

O método de irrigação mais utilizado é o realizado por meio de agulha adaptada a uma seringa associada à pressão apical positiva (BOUTSIUKIS; VAN DER SLUIS, 2015; GU et al., 2009a), o qual permite fácil controle da profundidade de penetração da agulha e frequente renovação da solução irrigante com grandes volumes a fim de favorecer a movimentação hidráulica da solução irrigante no interior do canal radicular (GU et al., 2009a; LOPES et al., 2015). Entretanto, estudos demonstraram que esta irrigação convencional é ineficaz na remoção dos remanescentes teciduais e na limpeza do canal radicular em toda sua extensão, especialmente do terço apical (TANOMARU-FILHO et al., 2015; THOMAS et al., 2014) e em canais com achatamentos (BARATTO-FILHO et al., 2009; LACERDA et al., 2017; LEE et al., 2019; VERSIANI et al., 2013) e istmos (ENDAL et al., 2011; LEONI et al., 2017; PAQUÉ et al., 2011; ROBINSON et al., 2012).

Outro protocolo que visa amenizar as limitações da irrigação convencional e promover a limpeza do canal radicular, é a ativação de soluções irrigantes por meio de dispositivos ultrassônicos. A irrigação ultrassônica passiva (PUI) é definida como a ativação da solução irrigante contida no interior do canal radicular, por meio de limas de pequeno calibre (WELLER et al., 1980) ou insertos ultrassônicos lisos (VAN DER SLUIS; et al., 2005b). A eficácia da PUI na remoção de remanescentes teciduais e dentinários tem sido pesquisada (GU et al., 2009a; HAAPASALO et al., 2014; NUSSTEIN, 2015; SCHMIDT et al., 2015; THOMAS et al., 2014; VAN DER SLUIS et al., 2005a; VAN DER SLUIS et al., 2007), sendo que, em geral, os estudos mostram a PUI mais efetiva quando comparada à irrigação convencional (CAMERON, 1987; GOODMAN et al., 1985; GU et al., 2009a; GUTARTS et al., 2005; HAAPASALO et al., 2014; LEE et al., 2004a; LEONI et al., 2017; NUSSTEIN, 2015; PASSARINHO-NETO et al., 2006; PAQUÉ et al., 2011; VARELA et al., 2018).

Ainda visando complementar a limpeza do SCR, foi desenvolvido um instrumento com diâmetro 25 e sem conicidade chamado XP-endo Finisher, que promove a ação mecânica de chicoteamento contra as paredes do canal radicular. Este instrumento é produzido com exclusiva liga de Ni-Ti MaxWire (Martensite-Austenite Electropolish-FleX), altamente flexível que tem sua forma alterada em diferentes temperaturas. O instrumento apresenta-se reto na sua fase martensita (fase-M), alcançada quando é resfriado. Já quando o instrumento é exposto a temperaturas mais elevadas, como a temperatura corporal, ocorre alteração da sua forma devido a memória molecular da liga para a fase austenita (fase-A), assumindo uma conformação de semi-círculo que, em rotação, permite atingir uma área de 6 mm em diâmetro ou 100 vezes maior que a de um instrumento de tamanho equivalente. Estudos da utilização deste instrumento na limpeza de canais radiculares com istmos e achatamentos têm demonstrado resultados satisfatórios (BAO et al., 2017; LEONI et al., 2017; ZHAO et al., 2019).

Para o estudo do debridamento e limpeza do SCR, a literatura descreve diferentes métodos, como histologia, microscopia eletrônica de varredura e métodos de secção (AKMAN et al., 2015; AHUJA et al., 2014; DAI et al., 2011; DE MELO RIBEIRO et al., 2013; HAAPASALO et al., 2014; PAQUÉ et al., 2005). Contudo, são métodos destrutivos cujos, espécimes sofrem descalcificação durante o seu processamento removendo tecido inorgânico, assim como procedimentos de secção que podem resultar na deposição de *smear* ou alterar a localização dos debrís (FAN et al., 2010; GU et al., 2009a), podendo criar artefatos durante a avaliação.

Em 2009, PAQUÉ et al. demonstraram, por meio de micro-CT, a presença de debrís dentinários em istmos, produzidos pela instrumentação rotatória. Assim, esta técnica surge como alternativa para avaliar protocolos de remoção de debrís dentinários produzidos pelo preparo, principalmente por ser uma metodologia não-destrutiva e permitir que o mesmo espécime possa ser escaneado diversas vezes para avaliar e comparar os debrís dentinários acumulados (DDA) após diferentes etapas sequenciais do tratamento.

Considerando esta metodologia não-destrutiva, a literatura evidencia estudos que mostram resultados da utilização de diferentes protocolos para complementação de limpeza de istmos (KELES et al., 2016; SILVA et al., 2019), porém não é observado estudos da efetividade destes protocolos na limpeza de istmos em diferentes severidades de curvaturas radiculares.

2 Proposição

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo do presente estudo foi avaliar, quantitativa e qualitativamente, por meio de microtomografia computadorizada, a influência da severidade da curvatura radicular na remoção de debris dentinários acumulados no terço apical de canais radiculares com presença de istmo submetidos à diferentes protocolos de irrigação final.

2.2 Objetivos Específicos

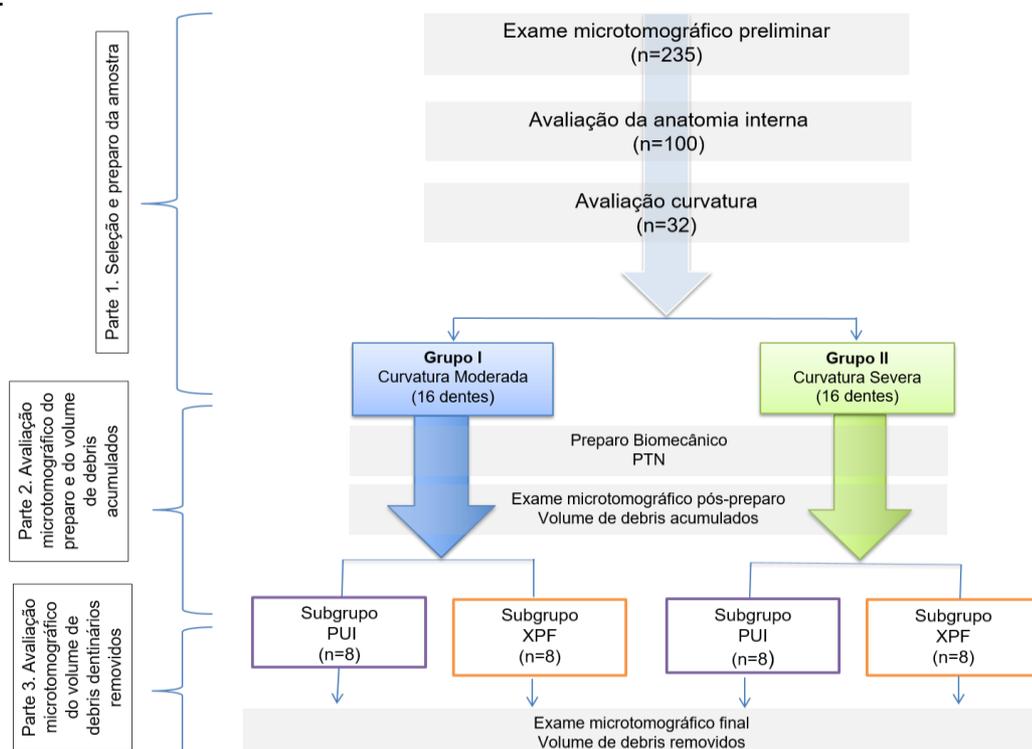
1. Avaliar o percentual de remoção de debris no terço apical de canais radiculares com istmo na presença de curvatura radicular moderada e severa por meio de microtomografia computadorizada.
2. Avaliar o percentual de remoção de debris no terço apical de canais radiculares com istmo após diferentes protocolos de irrigação final: irrigação ultrassônica passiva e XP-endo Finisher, por meio de microtomografia computadorizada.
3. Avaliar qualitativamente a localização de debris dentinários após os protocolos de irrigação final a partir dos modelos tridimensionais obtidos em microtomografia computadorizada.

3 Material e método

Delineamento experimental

Os fatores de estudo envolvidos neste trabalho foram: grau de curvatura das raízes mesiais de molares inferiores, em dois níveis (curvatura moderada e curvatura severa); e protocolos de irrigação final, em dois subníveis (irrigação ultrassônica passiva e agitação com instrumento XP-endo Finisher). As amostras desse experimento foram de 32 molares inferiores humanos divididos de acordo com a curvatura das raízes mesiais em dois grupos e subdivididos de acordo com o protocolo de irrigação final em dois subgrupos. O estudo foi realizado com oito repetições de cada subgrupo experimental. A variável de resposta quantitativa foi a porcentagem de debrís dentinários removidos após os respectivos protocolos de irrigação final a partir da avaliação das imagens obtidas por meio de microtomografia computadorizada. A variável de resposta qualitativa foi a localização dos debrís dentinários após os respectivos protocolos de irrigação final a partir dos modelos tridimensionais obtidos por meio de microtomografia computadorizada (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da sequência metodológica utilizada nas etapas experimentais do presente estudo.



Fonte: autor.

PTN: ProTaper Next; PUI: Irrigação ultrassônica passiva; XPF: XP-endo Finisher.

Parte 1. Seleção e preparo da amostra

Seleção da amostra

Após aprovação do projeto deste estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Ribeirão Preto (CAAE 98181018.5.0000.549), foram obtidos 235 molares inferiores humanos com rizogênese completa e estrutura radicular hígida, provenientes da coleção de dentes do Laboratório de Pesquisa em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto, obtidos previamente à resolução 466/12. Esses dentes foram mantidos em solução de timol a 0,1% até momento do uso.

Os dentes foram lavados em água corrente por 24 h e, em seguida, sua superfície radicular externa foi limpa por meio de raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil). Posteriormente, os dentes selecionados foram identificados numericamente e inseridos, individualmente, em recipiente plástico contendo 1 mL de soro fisiológico, e armazenados em estufa a 37 °C, por 72 h, visando a sua reidratação.

Exame microtomográfico preliminar

Ainda em relação à seleção da amostra, foi realizada a análise microtomográfica qualitativa da anatomia interna dos dentes selecionados. Os 235 espécimes foram escaneados utilizando-se o microtomógrafo SkyScan modelo 1176 (SkyScan, Kontich, Bélgica) do Laboratório de Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto (Figura 2A). Previamente ao escaneamento, a raiz mesial dos espécimes foi identificada com caneta permanente e, em seguida, grupos de 10 espécimes foram posicionados no suporte para de isopor tubular meia lua, para o modelo SkyScan 1176 de maneira padronizada em relação à raiz mesial (Figura 2B). Este conjunto foi levado à cama de fibra de carbono no interior do microtomógrafo (Figura 2C) e, posteriormente, o escaneamento foi realizado nos parâmetros de 90 kV, 278 mA, resolução isotrópica de 18 µm, 180° de rotação em torno do eixo vertical com passo de rotação de 0,8°, quantidade total de 2 quadros (*frames*), utilizando filtro de cobre de 0,1 mm de espessura. Ao término do escaneamento, os dentes foram novamente imersos em soro fisiológico e armazenados em estufa a 37 °C e 95% umidade relativa do ar.

Figura 2. (A) Microtomógrafo SkyScan modelo 1176. (B) Espécimes posicionados no suporte de isopor tubular meia lua. (C) Suporte de isopor posicionado na cama de fibra de carbono no interior do microtomógrafo.

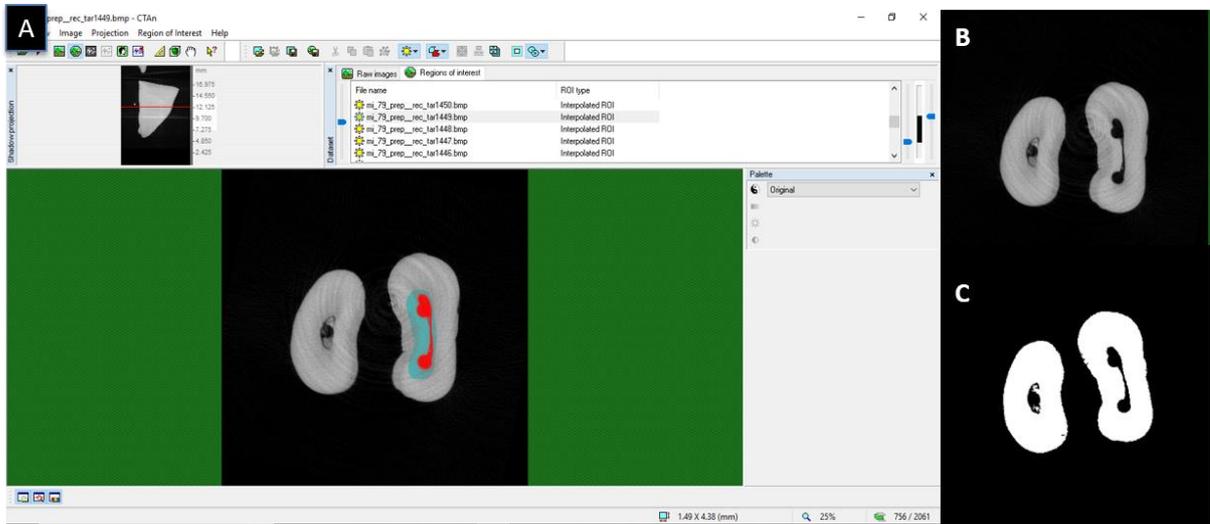


Fonte: autor.

A etapa seguinte consistiu na reconstrução das secções axiais a partir das imagens das projeções angulares, por meio do algoritmo de reconstrução de feixe cônico de Feldkamp modificado, usando o programa NRecon v.1.7.3.1 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica). Foi aplicada uma redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifact*) no valor de 15 (escala de 0-20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 40% (escala de 0 a 100%), de suavização (*Smoothing*) no valor de 3 (escala de 0 a 10) e com o histograma de contraste variando de 0,006 (valor mínimo) a 0,28 (valor máximo). As secções axiais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmap* (BMP).

A partir das imagens reconstruídas, no programa CTAn v.1.18.8.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) foi realizada a segmentação da imagem por meio da técnica de binarização ou *threshold* interativo, na qual é realizada a segmentação dos valores de tons de cinza da reconstrução tridimensional obtendo-se, assim, uma imagem binária, na qual os *pixels* pretos representaram o fundo e os *pixels* brancos, o objeto da análise (Figura 3). Esse processo foi realizado para a região de interesse do sistema de canais radiculares (SCR) da raiz mesial por meio de operações matemáticas com a ferramenta *Custom Processing*. A partir desta ferramenta utilizou-se uma sequência de operações matemáticas (*task list*) da qual foram gerados modelos tridimensionais do SCR de cada espécime.

Figura 3. (A) Programa CTAn utilizado para realização das análises, mostrando a delimitação da região de interesse do sistema de canais radiculares da raiz mesial (vermelho). **(B)** Imagem em tons de cinza previamente à binarização. **(C)** Imagem binarizada do canal radicular da raiz mesial.



Fonte: autor.

No programa CTVol v.2.3.2.1 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), os modelos tridimensionais foram avaliados qualitativamente em relação à configuração da morfologia do SCR. A partir dessa avaliação, foram selecionados 100 molares inferiores com raiz mesial apresentando anatomia interna tipo I de Vertucci (VERTUCCI, 1984), ou seja, com dois canais conectados por um istmo único e contínuo que permanecem unidos até o terço apical (Figura 4).

Figura 4. Modelos tridimensionais do sistema de canais radiculares de raízes mesiais de molares inferiores selecionados após o exame microtomográfico preliminar.

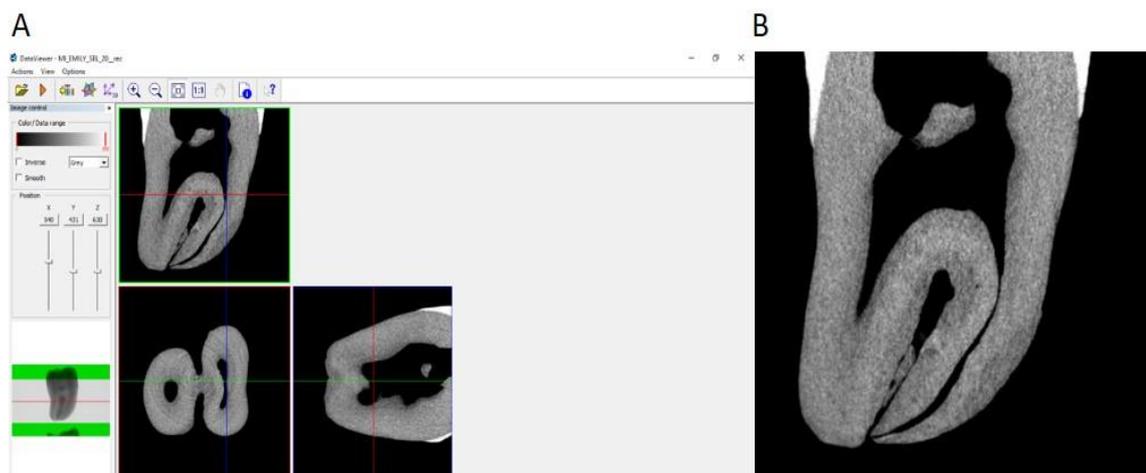


Fonte: autor.

Avaliação da curvatura radicular - Grupos experimentais

Os 100 espécimes selecionados em relação a anatomia interna tiveram a curvatura radicular avaliada seguindo a metodologia proposta por ESTRELA et al. (2008). Para isso, as imagens reconstruídas a partir do escaneamento microtomográfico preliminar foram inicialmente carregadas no programa DataViewer v.1.5.6.2 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), o qual permite a visualização simultânea dos três planos dimensionais (x, y, z) assim como a movimentação desses planos tridimensionais em relação ao longo eixo do dente. Deste modo, foram feitas alterações dos alinhamentos dos planos tridimensionais até que fosse possível a visualização no plano longitudinal do canal radicular da raiz mesial desde seu orifício até o forame apical (Figura 5).

Figura 5. (A) Programa DataViewer mostrando os três planos tomográficos: sagital ou longitudinal, axial e coronal. (B) Corte longitudinal obtido após alinhamento com visualização completa do canal radicular na raiz mesial.



Fonte: autor.

Para cada espécime, essa imagem do plano longitudinal foi salva em formato *Bitmap* (BMP) e, posteriormente, avaliada com auxílio do programa ImageJ 1.52a (U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, EUA). Assim, após a calibração da imagem em relação as suas dimensões originais, foi determinado um ponto localizado no orifício da entrada dos canais radiculares da raiz mesial e foi traçada uma reta desse ponto até o início da curvatura, seguindo o longo eixo do dente ou do contorno original do canal radicular, determinando-se, um segundo ponto. O terceiro ponto foi demarcado na posição do forame apical e a segunda reta

foi traçada, partindo do forame apical cruzando com a primeira reta, demarcando, neste ponto, o ângulo de curvatura do canal radicular (Figura 6). Estas mensurações foram realizadas por dois avaliadores calibrados e os valores de ângulo de curvatura obtidos foram utilizados para classificação de sua severidade de acordo com metodologia proposta por SCHNEIDER (1971).

Figura 6. Representação esquemática da mensuração do ângulo de curvatura. Linhas (amarelas) traçadas para determinação do ângulo de curvatura.



Fonte: autor.

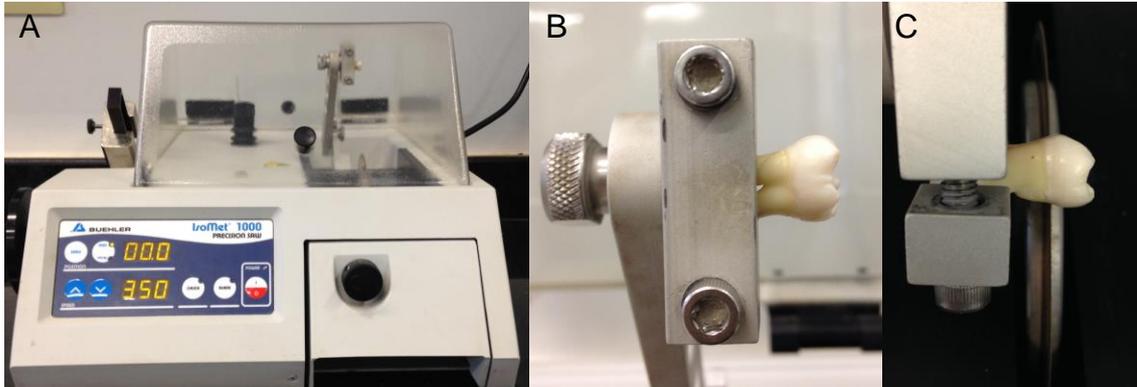
De acordo com os valores obtidos do grau de curvatura, os espécimes foram categorizados em curvatura moderada quando ângulos se apresentaram de 0° a 20° e severa quando ângulos acima de 20°. Assim, foram selecionados 32 molares inferiores que foram divididos em dois grupos (n=16): curvatura moderada e curvatura severa.

Secção dos dentes

A fim de evitar variáveis de confusão, os dentes selecionados tiveram suas coroas seccionadas a aproximadamente 3 mm acima coronalmente à junção cimento-esmalte de acordo com a metodologia proposta por (KELLES et al., 2016). Para isso, cada espécime foi acoplado a um dispositivo na máquina Isomet 1000 (Buehler, Lake Forest, IL, EUA) (Figura 7A), na qual um disco diamantado (South Bay Technology, San Clement, CA, EUA), sob refrigeração constante, peso de 250 g e velocidade de 300 rpm realizou o corte da porção coronária, perpendicularmente

ao longo eixo da raiz (Figura 7C). Após isso, os dentes foram novamente colocados em recipiente plástico e armazenados em estufa a 37 °C e 95% umidade relativa.

Figura 7. Secção dos dentes. **(A)** Máquina de corte Isomet 1000. **(B)** Espécime adaptado ao dispositivo de fixação na máquina de corte. **(C)** Procedimento de corte da porção coronária do dente utilizando disco diamantado sob refrigeração.



Fonte: autor.

Parte 2. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular e do volume de debris dentinários acumulados

Exame microtomográfico inicial

Com o objetivo de melhorar a resolução das imagens devido ao tamanho e densidade dos debris dentinários (PAQUÉ et al., 2009; ROBINSON et al., 2012), após a secção das coroas, os espécimes foram novamente escaneados no mesmo aparelho do escaneamento microtomográfico preliminar, porém com especificidades no posicionamento da amostra e menor resolução. Da mesma forma descrito no escaneamento preliminar, grupos de 10 espécimes foram posicionados no meio de um suporte para amostra e este conjunto foi levado à cama de fibra de carbono no interior do microtomógrafo de forma que a face mesial dos espécimes ficasse disposta para o lado da tela *touch screen* do aparelho com intuito de facilitar o alinhamento (sobreposição) das imagens adquiridas durante as etapas posteriores deste estudo (Figura 2). Assim, deu-se início ao escaneamento nos parâmetros de 90 kV, 278 mA, resolução isotrópica de 9 μ m, 180° de rotação em torno do eixo vertical com passo de rotação de 0,5°, quantidade total de 4 quadros (frames), utilizando filtro de cobre de 0,1 mm de espessura.

As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas no formato *Tagged Image File* (TIFF). Ao término do escaneamento, os espécimes foram novamente armazenados em estufa a 37 °C, 95% umidade relativa.

Assim como descrito anteriormente, a etapa seguinte consistiu na reconstrução das secções axiais a partir das imagens das projeções angulares por meio do algoritmo de reconstrução de feixe cônico de Feldkamp modificado, usando o programa NRecon v.1.7.3.1. Sendo assim, foi aplicada uma redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifact*) no valor de 20 (escala de 0-20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 45% (escala de 0 a 100%), de suavização (*Smoothing*) no valor de 3 (escala de 0 a 10) e com o histograma de contraste variando de 0,00000 (valor mínimo) a 0,027 (valor máximo). As secções axiais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmaps* (BMP).

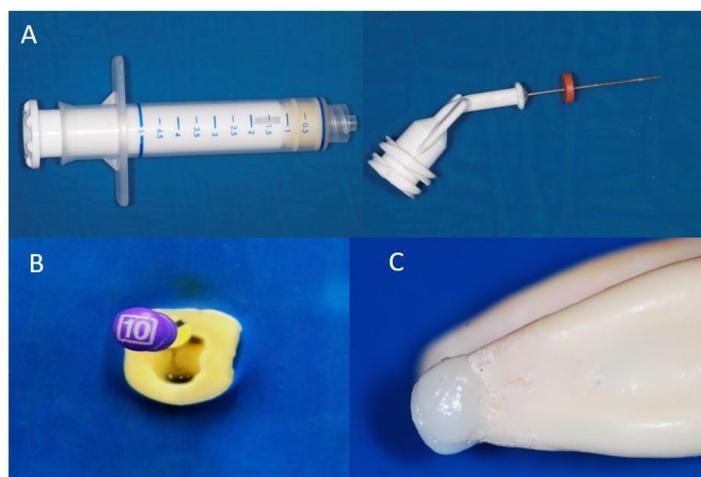
Após a reconstrução, realizou-se o processamento e análise das imagens com auxílio do programa CTAn. O volume de interesse (VOI) foi definido como o SCR da raiz mesial, composto pelos canais mesiais e área de istmo, estendendo-se desde o nível de bifurcação dos canais a partir da região de furca até o forame apical. Por meio da ferramenta *Custom Processing*, uma sequência de operações matemáticas (*task list*) foi aplicada e por meio da operação “*Save Bitmaps*”, as imagens iniciais do SCR binarizado foram salvas em um novo diretório. Este novo diretório foi carregado no mesmo programa e, por meio da ferramenta *Custom Processing*, uma sequência de operações matemáticas (*task list*) foi novamente aplicada e obtiveram-se o volume (mm³) e o modelo tridimensional do SCR da raiz mesial.

Preparo biomecânico dos canais radiculares

Após o exame microtomográfico inicial, os canais foram acessados com auxílio de broca esférica (FKG – Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) e broca Endo Z (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) acionadas por motor em alta rotação (Kavo, Joinville, SC, Brasil). Os canais foram irrigados com 1 mL de hipoclorito de sódio a 1% (NaOCL 1%) usando-se agulha NaviTip calibre 30 (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) adaptada a seringa plástica descartável (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) (Figura 9A). A exploração dos canais foi realizada com lima manual pré-curvada #10 tipo K de aço inox (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) que foi cuidadosamente introduzida no interior do canal até sua ponta

coincidir com o forame apical, confirmando a patência dos canais (Figura 9B). Dessa medida, foi subtraído 0,5 mm para o estabelecimento do comprimento de trabalho (CT). Em seguida, o forame apical foi selado com cola quente de silicone (Hot Melt, Rhamos e Brito, São Paulo, SP, Brasil), para criar um sistema apical fechado (Figura 9C).

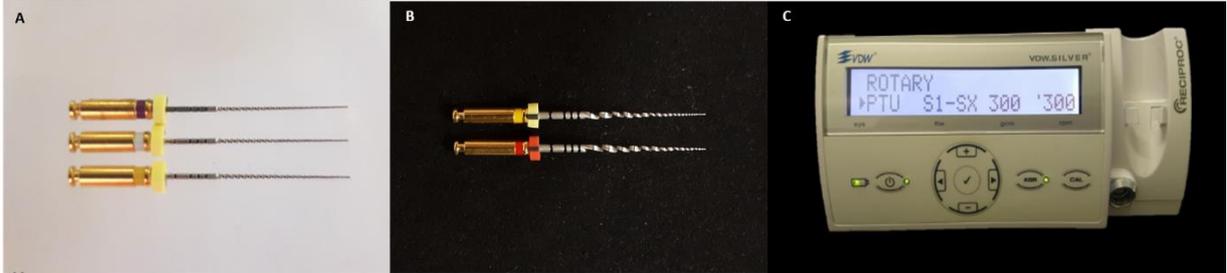
Figura 9. (A) Seringa plástica e agulha NaviTip. (B) Exploração inicial do canal com lima #10 tipo K e determinação do comprimento de trabalho. (C) Selamento do ápice da raiz mesial com cola quente.



Fonte: autor.

A patência foi realizada no comprimento de trabalho, usando instrumentos PathFile (#13.02, #16.02, #19.02, Dentsply Maillefer) em rotação contínua (300 rpm; torque de 2 N.cm) (Figura 10A). Em seguida, os canais foram preparados pela técnica de instrumentação rotatória com a sequência de instrumentos ProTaper Next (Dentsply Maillefer) até diâmetro cirúrgico X2 (#25.06) (Figura 10B). O acionamento mecânico dos instrumentos foi realizado com o contra ângulo redutor 6:1 Sirona (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha) acoplado ao micromotor SMR 114058 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) que, por sua vez, estava conectado ao motor elétrico VDW Silver (VDW GmbH, Munique, Alemanha) (Figura 10C). Os instrumentos foram usados de forma passiva, com movimento de bicada e, a cada 3 avanços, foram retirados do canal e limpos com gaze. Estes passos foram repetidos até atingir o CT. Cada sequência de instrumentos foi utilizada em 2 a 3 dentes devido ao estresse gerado pela curvatura.

Figura 10. (A) Sequência do sistema PathFile disposta de cima para baixo: #13.02 #16.02 #19.02. **(B)** Sequência do sistema ProTaper Next disposta de cima para baixo: #17.04 #25.06. **(C)** Programação no visor do Motor VDW Silver referente à instrumentação com o sistema ProTaper Next.

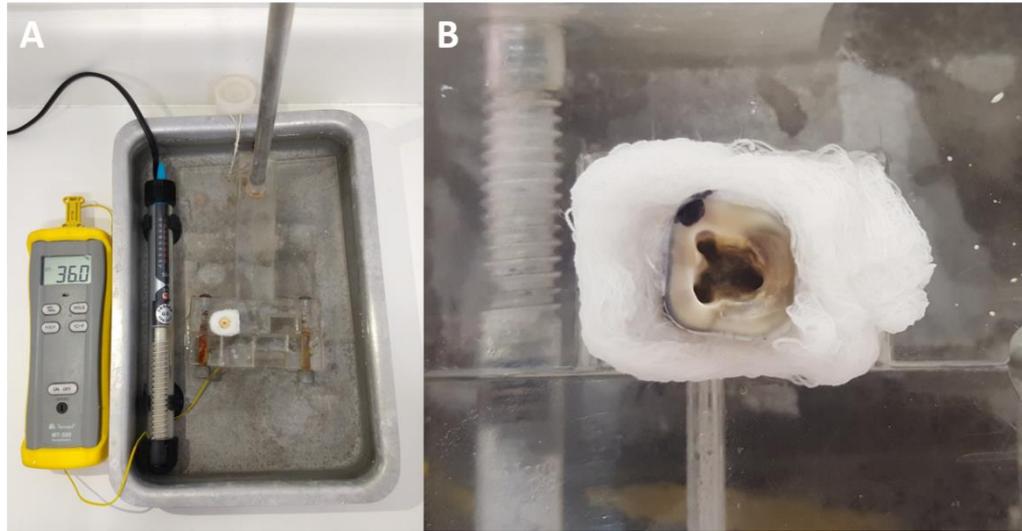


Fonte: autor.

Durante todo o preparo, foram realizadas a irrigação e aspiração ao nível do orifício da entrada dos canais radiculares utilizando agulha Navitip calibre 30 (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA), adaptada a seringa plástica descartável, totalizando 5 mL de NaOCl 1% em cada canal. A irrigação e aspiração intracanal não foram realizadas, a fim de possibilitar o acúmulo de debris em áreas de difícil acesso do SCR. Em seguida, cada canal foi ligeiramente seco com cones de papel absorvente (Dentsply Maillefer).

Vale ressaltar que para simular condições clínicas de temperatura da cavidade oral, especialmente devido ao mecanismo de ação do instrumento XP-endo Finisher utilizado em etapas posteriores deste estudo, cada dente teve sua porção radicular posicionada individualmente em suporte acrílico submerso em água aquecida a 36 ± 2 °C por meio de termostato submerso (Vigoar, GPD LTDA, Hong Kong, China) (Figura 11). A temperatura ambiente da sala onde foi realizado os procedimentos experimentais (preparo biomecânico e protocolos de irrigação final) foi mantida em 25 °C.

Figura 11. (A) Suporte acrílico submerso em água aquecida por meio de termostato. **(B)** Espécime posicionado individualmente no suporte acrílico para realização dos procedimentos experimentais.



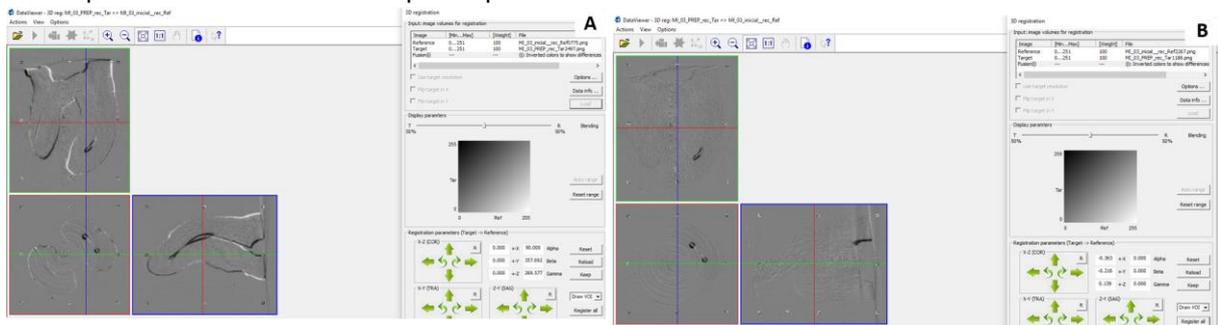
Fonte: autor.

Exame microtomográfico pós-preparo

Após o preparo dos canais, os espécimes foram submetidos ao exame microtomográfico pós-preparo seguindo-se os protocolos de escaneamento e reconstrução descritos previamente no escaneamento inicial.

Antes da análise morfológica tridimensional quali-quantitativa dos canais radiculares preparados, as imagens de cada espécime, obtidas no exame microtomográfico pós-preparo, foram alinhadas (sobrepostas) em relação àquelas obtidas no exame microtomográfico inicial (antes do preparo), por meio da ferramenta *co-registration* no programa DataViewer (Figura 12). Por convenção, o conjunto de dados obtidos previamente ao preparo foi considerado fixo, fazendo-se o registro do conjunto de dados após o preparo, em relação ao primeiro. Este novo registro alinhado de dados de cada espécime após o preparo foi salvo em um novo diretório. Além disso, também foi salvo um novo diretório do conjunto de dados da variação (diferença) entre o conjunto de dados dos espécimes obtidos antes e após o preparo (*Image Difference*).

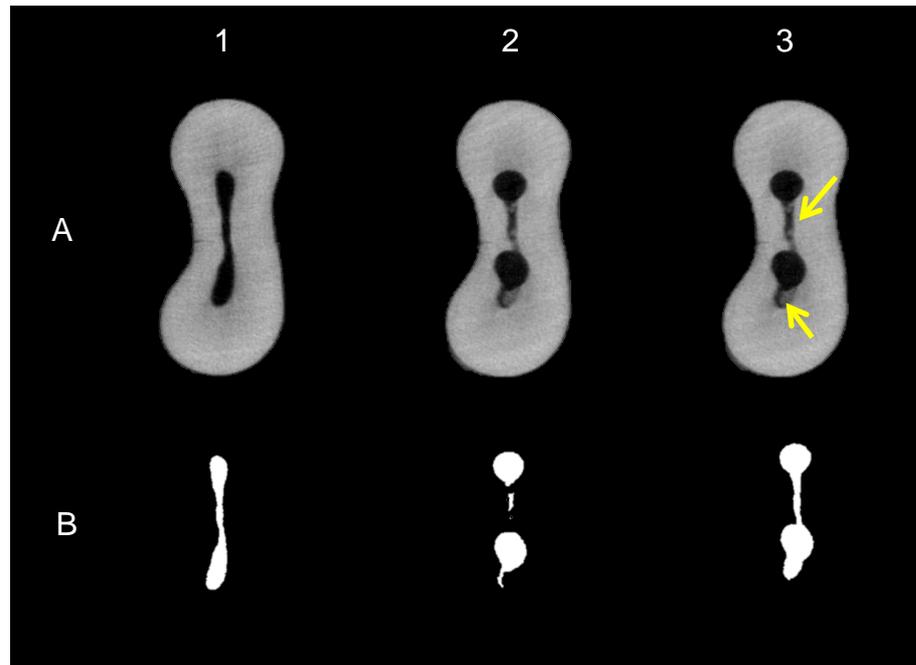
Figura 12. Ferramenta *co-registration* no programa DataViewer (A) antes e (B) após o alinhamento dos espécimes nas diferentes etapas experimentais.



Fonte: autor.

Depois de garantido o alinhamento dos espécimes, foi realizado o processamento e análise das imagens pós-preparo, com auxílio do programa CTAn. O VOI utilizado foi o mesmo definido na análise do exame microtomográfico inicial. Por meio da ferramenta *Custom Processing*, uma sequência de operações matemáticas (*task list*) foi aplicada e as imagens do SCR pós-preparo foram binarizadas e salvas em novo diretório. Contudo, devido à presença de debris dentinários em áreas não alcançadas durante o preparo, essas áreas não são detectadas no processo de binarização do SCR. Assim, para se obter a real imagem do SCR após o preparo, as imagens binarizadas iniciais e pós-preparo do canal radicular foram somadas. Para isso, o diretório das imagens binarizadas do canal radicular inicial foram novamente carregadas no programa CTAn e o diretório das imagens binarizadas do canal radicular pós-preparo foram carregadas como região de interesse. Assim, por meio da operação matemática “*Arithmetical operations*” na ferramenta *Custom Processing*, foi obtido a imagem binarizada real do canal radicular pós-preparo (Figura 13), assim como, foram obtidos os modelos tridimensionais do SCR pós-preparo (imagens binarizadas somadas).

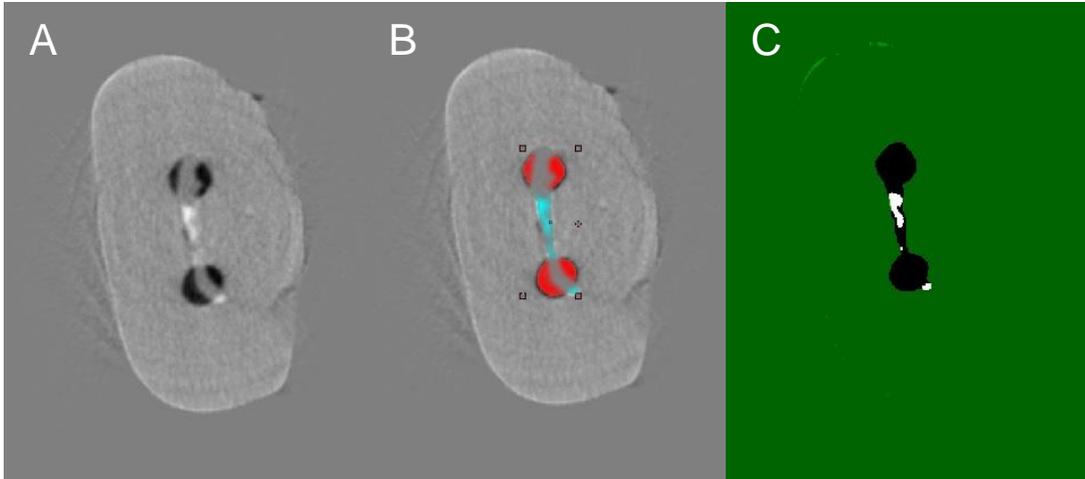
Figura 13. Representação esquemática das operações matemáticas realizadas na ferramenta *Custom processing* para a análise do canal radicular preparado na presença de debris dentinários acumulados. **(A)** Secções axiais e **(B)** imagens binárias do canal radicular obtidas no (1) exame microtomográfico inicial, (2) exame microtomográfico pós-preparo e (3) após a aplicação da operação “*Arithmetical operations*” representando a imagem real do canal radicular pós-preparo, evidenciando as áreas não detectadas no processo de binarização devido à presença de debris dentinários.



Fonte: autor.

Para a avaliação do volume de debris dentinários acumulados (DDA) após o preparo dos canais foi utilizado o conjunto de dados da variação (diferença) entre dados obtidos antes e após o preparo (*Image Difference*) no programa CTAn. O VOI foi definido como o diretório da imagem binarizada do SCR pós-preparo (*bitmaps* somados). A presença de um material com densidade semelhante à dentina em regiões do canal radicular preparado foi considerada como debris e quantificada (PAQUÉ et al., 2009; ROBINSON et al., 2012) (Figura 14). O volume total de DDA pós-preparo considerando o terço apical foi calculado em milímetro cúbico (mm^3) e expresso como percentual do volume total do canal radicular apical após o preparo (%vol).

Figura 14. Análise do DDA no programa CTAn. **(A)** Imagem 2D da diferença entre o conjunto de dados dos espécimes obtidos antes e após o preparo (*Image Difference*). **(B)** Imagem binarizada do canal radicular pós-preparo como VOI de **(A)**. **(C)** Imagem binária correspondente ao material com densidade semelhante à dentina em regiões do canal radicular preparado considerada como debris.



Fonte: autor.

Parte 3. Avaliação microtomográfica do volume de debris dentinários removidos

Protocolos de irrigação final - Subgrupos experimentais

A fim de melhorar a validade interna do experimento, a composição dos grupos experimentais foi realizada por meio da técnica de amostragem estratificada. Para tanto, os molares já preparados foram combinados em 8 grupos de 4 dentes com base nos aspectos morfológicos quantitativos (ângulo de curvatura e volume inicial) e qualitativos (configuração anatômica) do SCR; e %vol de DDA pós-preparo. Em seguida, um dente de cada grupo foi distribuído aleatoriamente a cada um dos 4 subgrupos experimentais (n=8). Esta distribuição possibilitou a formação de subgrupos experimentais homogêneos e representativos da variabilidade anatômica, como evidenciado na Tabela I.

Tabela I. Dados morfológicos (média±desvio-padrão) do SCR da raiz mesial antes do preparo e %vol DDA após preparo dos 32 molares inferiores distribuídos nos 4 grupos experimentais.

Grupos		Parâmetros					
		Ângulo (°)		Volume (mm ³)		%vol DDA	
		Média±DP	Δ	Média±DP	Δ	Média±DP	Δ
Curvatura Moderada	PUI (n=8)	15,73±10,0 ^a	5,03-18,26	8,46±2,03	5,76-10,79	2,04±1,20	0,13-3,98
	XPF (n=8)	9,50±6,20 ^a	1,98-19,15	9,47±3,48	5,16-15,14	2,25±1,54	0,25-4,09
Curvatura Severa	PUI (n=8)	31,54±9,11 ^b	23,75-46,83	9,85±3,89	4,10-17,24	1,99±1,59	0,53-4,76
	XPF (n=8)	29,22±6,32 ^b	21,43-41,53	9,53±3,58	3,10-14,62	2,10±1,88	0,16-6,28
P		0,000		0,854		0,989	

Diferentes letras sobrescritas na mesma coluna significam diferença estatística (ANOVA, $p < 0,05$).
 Δ: variação.

Os subgrupos experimentais (n=8) foram estabelecidos de acordo com o protocolo de irrigação final, que foi realizado durante de 2 minutos usando um total de 5 mL de NaOCl 1,0% por canal, conforme descrição a seguir:

Irrigação ultrassônica passiva (Grupo PUI): Inicialmente, 0,5 mL de NaOCl 1,0% foi dispensado no interior do canal e agitado ultrassonicamente com inserto não cortante (#20, taper 0.01) de 18 mm de aço inoxidável (E1-Irrisonic, Helse Dental Technology, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil), acionado por 20 segundos por uma unidade ultrassônica piezoelétrica (Newtron P5 Xs, Satelec, França) na potência de 10%, a 3 mm do CT, em movimentos suaves e de pequena amplitude no sentido cérvico-apical evitando tocar as paredes do canal. É importante ressaltar que os insertos foram previamente pré-curvados devido a curvatura selecionada da raiz mesial. Os canais foram irrigados novamente com 1,67 mL de NaOCl 1,0% durante 20 s e ativado por outros 20 s. Este último procedimento foi repetido e, em seguida, uma irrigação final foi realizada com 1,67 mL de NaOCl 1,0% durante 20 s. Um total de 5,51 mL de NaOCl 1,0 % foi usado por canal durante 1 minuto de ativação (3 ciclos de 20 s). A irrigação dos canais foi realizada usando a técnica de irrigação convencional seringa/agulha (Figura 15).

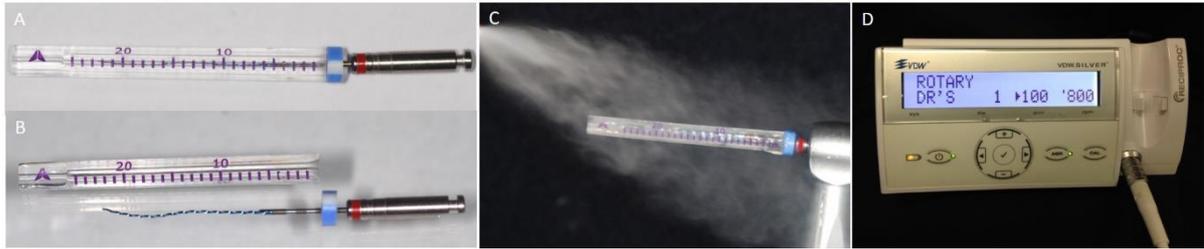
Figura 15. (A) Unidade ultrassônica piezoelétrica Newtron p5 xs (Satelec-França) ajustada na potência de 10%. **(B)** Inserto E1-Irrisonic (Helse Dental Technology, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil).



Fonte: autor.

Ativação com XP-endo Finisher (Grupo XPF): um instrumento XP-endo Finisher (25.0), mantido no interior do seu tubo plástico (Figura 16A), foi adaptado a um contra ângulo redutor 6:1 Sirona (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha) acoplado ao micromotor SMR 114058 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) que, por sua vez, é conectado ao motor elétrico VDW Silver (VDW GmbH, Munique, Alemanha). Ainda no interior do tubo plástico, o instrumento foi resfriado com spray refrigerante à base de butano (Endo Ice Spray Maquira, Maringá, PR, Brasil) por 5 s e removido do tubo em rotação. A rotação foi desligada e o instrumento foi introduzido no canal radicular previamente inundado com 0,5 mL de NaOCl 1,0%. A rotação foi acionada novamente (800 rpm; torque de 1 N.cm) e o instrumento foi usado em movimentos suaves e de pequena amplitude até o comprimento de trabalho total do canal durante 1 min. Após isso, o instrumento XP-endo Finisher foi removido do interior do canal radicular em rotação e a irrigação final dos canais foi realizada com 5 mL de NaOCl 1,0% usando a técnica de irrigação convencional seringa/agulha. Cada instrumento foi utilizado em 2 dentes e, em seguida, foram descartados (Figura 16).

Figura 16. (A) Instrumento XP-endo Finisher armazenado dentro do tubo plástico. (B) Instrumento XP-endo Finisher fora do tubo plástico. (C) Instrumento XP-endo Finisher adaptado a um contra ângulo (VDW GmbH) resfriado com spray refrigerante. (D) Programação no visor do Motor VDW Silver referente aos parâmetros de velocidade e torque.



Fonte: autor.

Assim como descrito no preparo dos canais, após os protocolos de irrigação final, a solução irrigadora foi aspirada na embocadura dos canais e os canais radiculares foram ligeiramente secos com uma ponta de papel absorvente.

Exame microtomográfico final

Após os protocolos experimentais de irrigação final, foi realizado o exame microtomográfico final utilizando os mesmos protocolos de escaneamento, reconstrução, alinhamento (sobreposição) e análise descritos previamente no exame microtomográfico pós-preparo deste estudo. As imagens obtidas dos espécimes no exame microtomográfico final foram alinhadas (sobreposição) em relação àquelas obtidas no exame microtomográfico inicial (antes do preparo). Dessa forma, após a análise no programa CTAn, foi obtido o volume total de DDA no terço apical após os protocolos de irrigação final, calculado em milímetro cúbico (mm^3), e expresso como percentual do volume encontrado após o preparo, ou seja, percentual de DDA removidos (%Red).

Para a comparação qualitativa dos canais radiculares antes e após os procedimentos experimentais, os modelos tridimensionais obtidos em cada exame microtomográfico foram avaliados no programa CTVol, nos quais a cor preta representa a presença de debris dentinários.

Análise estatística

Os dados obtidos apresentaram distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk). Dessa forma os resultados foram expressos em valores médios (e desvios-padrão) e comparados entre grupos utilizando o teste two-way ANOVA e pós-teste de Bonferroni com auxílio do programa SPSS v.17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA), com nível de significância de 5%.

4 Resultados

Avaliação quantitativa dos debrís dentinários

Para o percentual de remoção de DDA no terço apical após os protocolos de irrigação final, a análise de variância a dois critérios evidenciou haver diferença estatisticamente significativa entre curvatura moderada e severa ($p=0,05$), e não evidenciou diferença considerando os protocolos de irrigação final ($p>0,05$). Entretanto, foi observado interação entre esses fatores (severidade de curvatura e protocolos e irrigação final) ($p<0,05$) (Tabela II).

Tabela II. Resultados da análise de variância para comparação entre a severidade de curvatura e os protocolos de irrigação e a interação entre os fatores.

Fonte de Variação	Soma Quadrados	GL	Quadrado Médios	F	p
Severidade Curvatura	961,928	1	961,928	4,190	0,050
Protocolos de irrigação	411,236	1	411,236	1,791	0,192
Interação	5704,128	1	5704,128	24,847	0,000
Resíduo	6427,911	28	229,568		
Total	195208,943	32			
Total Corrigido	13458,759	31			

Nas raízes mesiais com curvatura moderada, o protocolo de irrigação final com PUI apresentou maior percentual de remoção de DDA no terço apical ($90,79 \pm 3,33\%$) comparado ao protocolo com XPF ($71,18 \pm 17,12\%$) ($p<0,01$). Já para curvatura severa, os espécimes irrigados com protocolo XPF apresentaram maior percentual de remoção de debrís no terço apical ($86,98 \pm 12,23\%$) comparado ao protocolo com PUI ($52,97 \pm 21,08\%$) ($p<0,05$) (Tabela III).

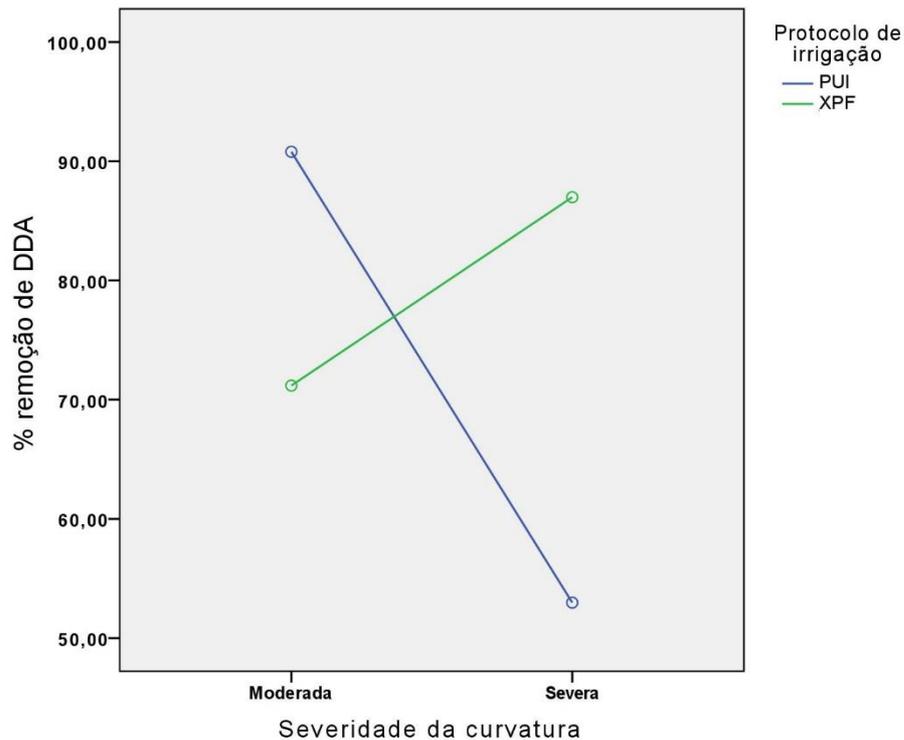
Tabela III. Percentual (%) de remoção de debrís dentinários acumulados após os diferentes protocolos de irrigação final.

	Severidade curvatura					
	Moderada			Severa		
	PUI	XPF	p	PUI	XPF	p
%Red	$90,79 \pm 3,33^a$	$71,18 \pm 17,12^b$	0,019	$52,97 \pm 21,08^b$	$86,98 \pm 12,23^a$	0,000

Diferentes letras sobrescritas na mesma linha significam diferença estatística considerando a mesma severidade de curvatura (teste de Bonferroni, $p<0,05$).

É possível observar que a interação entre severidade de curvatura e redução de DDA é diretamente proporcional para a irrigação com XPF e inversamente proporcional com a utilização de PUI (Figura 17).

Figura 17. Gráfico de interação entre a severidade de curvatura e protocolos de irrigação final no percentual de redução de debris dentinários acumulados.

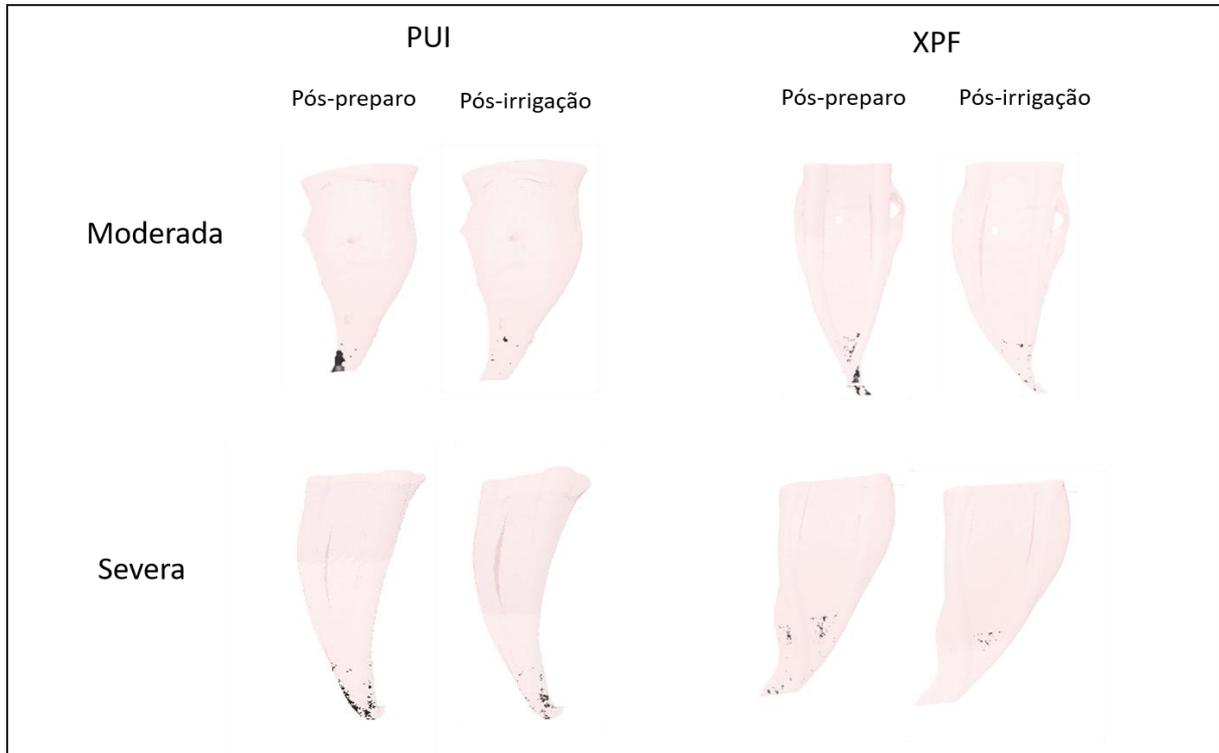


Avaliação qualitativa dos debris dentinários

A Figura 18 mostra os modelos tridimensionais representativos do sistema de canais radiculares da raiz mesial com curvatura moderada e severa antes e após os diferentes protocolos de irrigação final utilizados no presente estudo. Assim, nestes modelos tridimensionais é possível notar maior redução de DDA para o protocolo de irrigação com PUI na curvatura moderada e, diferentemente, para o protocolo com XPF na curvatura severa.

Após a PUI, os DDA remanescentes se localizaram concentrados principalmente nas áreas polares do canal no terço apical, já após protocolo com XPF, os DDA remanescentes se apresentaram em partículas menores distribuídas de forma mais dispersa no canal radicular apical.

Figura 18. Modelos tridimensionais representativos do sistema de canais radiculares da raiz mesial com curvatura moderada e severa antes e após os diferentes protocolos de irrigação final.



PUI: irrigação ultrassônica passiva, XPF: XP-endo Finisher.

5 Discussão

Diante da evolução dos instrumentos e das técnicas para o preparo biomecânico, tanto em relação aos meios mecânicos como físicos, este trabalho mostrou que a severidade da curvatura radicular pode influenciar no percentual de redução de DDA em istmos após diferentes protocolos complementares de irrigação final por meio da avaliação de imagens obtidas pelo método de microCT.

Desde a primeira aplicação desta metodologia na avaliação de debris dentinários produzidos durante o preparo biomecânico por PAQUÉ et al. (2009), a microCT têm sido utilizada por diversos estudos para avaliação da limpeza dos canais radiculares (DE-DEUS et al., 2015b; DE-DEUS et al., 2014; ROBINSON et al., 2012). A principal vantagem desta metodologia é sua característica não-destrutiva que permite que o mesmo espécime possa ser escaneado várias vezes a fim de avaliar os DDA nas diferentes etapas sequenciais do tratamento endodôntico (DE-DEUS et al., 2015a; LEONI et al., 2017; PAQUE et al., 2009; ROBINSON et al., 2012; SILVA et al., 2019). Entretanto, uma das suas limitações é o fato de que apenas fragmentos de tecido duro podem ser visualizados e analisados; sendo o remanescente de tecido mole invisível nos mesmos parâmetros de aquisição. Isto porque a microCT é baseada em imagens radiográficas e assim, os tecidos dentários atenuam facilmente os raios-X. Nesse sentido, foi utilizada neste estudo a definição de DDA proposta por PAQUÉ et al. (2009), como a presença de material com densidade semelhante à dentina em áreas do canal radicular ocupadas por ar antes do preparo, somada à definição por ROBINSON et al. (2012), como a área dos pixels que eram ocupados por ar e então tornaram-se dentina.

Ainda sobre a metodologia empregada neste estudo, a obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos canais radiculares permitiu a amostragem estratificada dos espécimes nos grupos experimentais garantindo a distribuição homogênea em relação à variabilidade anatômica. Uma vez que os estudos têm demonstrado que o resultado do preparo biomecânico depende mais da anatomia original do canal radicular do que do instrumento ou da técnica utilizados (BÜRKLEIN et al., 2017; BÜRKLEIN et al., 2012; BUSQUIM et al., 2015; DE-DEUS, 2012; ; GAGLIARDI et al., 2015; GUTMANN; GAO, 2012; VERSIANI et al., 2013; MARCELIANO-ALVES et al., 2015; RHODES et al., 2000; SCHIAVOTELO et al.,

2017; SOUSA-NETO et al., 2018; STRINGHETA et al., 2019), a obtenção destes dados quantitativos de anatomia em microCT pode contribuir para resultados mais confiáveis nos estudos *in vitro* a partir de uma seleção de amostra mais criteriosa, com formação de grupos homogêneos, em que se pode selecionar dimensões morfológicas do canal radicular estatisticamente semelhantes a partir dos dados 2D e 3D obtidos pelo exame microtomográfico (AHMETOGLU et al., 2015; GAGLIARDI et al., 2015; LACERDA et al., 2017, LOPES et al., 2017; MARCELIANO-ALVES et al., 2015; PASQUALINI et al., 2015; PETERS et al., 2015; PEREZ et al., 2017; SOUSA-NETO et al., 2018; VERSIANI et al., 2017; VERSIANI et al., 2013; ZHAO et al., 2019).

Dessa forma, foram selecionadas raízes mesiais de molares inferiores com SCR com istmo em duas diferentes severidades de curvatura: moderada e severa. O istmo é definido como uma área estreita, em forma de fita, que conecta dois canais radiculares (WELLER et al., 1995) e constitui um dos desafios clínicos mais difíceis quanto à limpeza e desinfecção (SUSIN et al., 2010). A presença dessa comunicação ocorre em 54,8% de raízes mesiais de molares inferiores e altas prevalências são encontradas principalmente no terço apical, com relatos de até 81% avaliando 6 mm apicais (GU et al., 2009b), sendo fortemente associada ao insucesso do tratamento endodôntico neste grupo dental (CARR et al., 2009; GU et al., 2009b; VON ARX et al., 2011; VON ARX, 2005) provavelmente em função da manutenção de restos necróticos, remanescentes teciduais ou substratos orgânicos que podem nutrir o crescimento de microrganismos (FREIRE et al., 2015; GU et al., 2009b; SIQUEIRA et al., 2008). Somado a isso, estas áreas podem acumular debris dentinários resultantes da ação mecânica dos diferentes instrumentos utilizados durante o preparo biomecânico (DE-DEUS et al., 2014; DE-DEUS et al., 2015b; PAQUÉ et al., 2009), que potencialmente irão abrigar bactérias no interior do canal radicular (NAIR et al., 2005) além de ter um impacto negativo na obturação dos canais visto que o cimento e guta-percha são incapazes de preencher espaços ocupados por debris (DE-DEUS et al., 2015b; FREIRE et al., 2015; PAQUÉ et al., 2009).

Ainda em relação aos desafios anatômicos, vale ressaltar que, apesar das vantagens proporcionadas pelos instrumentos de níquel-titânio em dentes com curvatura radicular acentuada, a probabilidade de erros nas etapas de limpeza e modelagem ainda é considerável, quando comparada a canais retos (YAMAMURA

et al., 2012). Além disso, o alcance da solução irrigadora é uma limitação nos canais curvos (MUNOZ et al., 2012; RODIG et al., 2010).

Estudos evidenciam que o uso de protocolos de irrigação complementares após o preparo biomecânico pode resultar em menor acúmulo de debris em complexidades anatômicas do SCR (HAUPT et al., 2019; LEONI et al., 2017; PAQUÉ et al. 2011, THOMAS et al. 2014, VERSIANI et al. 2016, VERSTRAETEN et al. 2017; ZHAO 2019) assim como demonstrado neste estudo, em que os dois protocolos de irrigação final foram capazes de reduzir a quantidade de DDA em canais instrumentados.

Considerando a curvatura moderada das raízes mesiais dos molares inferiores avaliados neste estudo, os maiores percentuais de redução de DDA foram observados com protocolo de irrigação final PUI comparado ao XPF. Visto que anatomia dos istmos favorece densa deposição dos DDA durante o preparo biomecânico (DE-DEUS et al., 2015b; PAQUÉ et al., 2012; PAQUÉ et al., 2009), é importante observar que a eficácia da limpeza nesta região é dependente não apenas do alcance da solução irrigante à região apical e em áreas não-instrumentadas do SCR, mas também da transmissão de energia para a solução irrigante com objetivo de aumentar a força de deslocamento dos DDA (PAQUÉ et al., 2009; PAQUÉ et al., 2011; PAQUÉ et al., 2012), o que, assim como neste estudo, pode ser obtido pela aplicação de energia ultrassônica (FREIRE et al., 2015; PAQUÉ et al., 2011; SILVA et al., 2019). Sabe-se que os efeitos primários da interação entre a energia ultrassônica e soluções irrigantes são a cavitação e a transmissão de energia acústica (*streaming*). A cavitação cria bolhas que conforme vão aumentando de tamanho tornam-se muito instáveis e implodem resultando em aumento de temperatura e efeito pressão vácuo. Já o fluxo acústico é a corrente de ondas geradas pela implosão das bolhas viajam em altas velocidades dentro da solução irrigante (AHMAD et al., 1987a; AHMAD et al., 1987b; CUNNINGHAM, 1984; HANCOCK, 1994; MARTIN, VAN DER SLUIS et al., 2005a; VAN DER SLUIS et al., 2007).

Contudo, LEONI et al. (2017) estudando a remoção de DDA em canais mesiais com istmo e curvatura moderada por meio de micro-TC verificaram não haver diferença estatística no percentual de remoção de debris entre irrigação final com utilização de PUI e XPF considerando canal como um todo, assim como também observaram de forma qualitativa, maior acúmulo de debris remanescentes

na região apical quando da utilização de PUI. Estas diferenças podem estar relacionadas ao maior acúmulo de DDA após o preparo biomecânico em virtude do design do instrumento e solução irrigante escolhida para preparo, visto que LEONI et al. (2017) utilizaram instrumentos reciprocantes associados a solução fisiológica. Quando instrumentos rotatórios são utilizados em uma secção circular do canal radicular, as partículas de dentina cortadas são carregadas coronalmente pelas zonas de escape do instrumento. Porém, esta remoção é menos efetiva quando o instrumento atua em um canal adjacente a um istmo. Deste modo, ao invés de ser carregado coronalmente, os debris dentinários são empurrados para a área de menor resistência, no caso, o istmo (PAQUÉ et al., 2009; PAQUÉ et al., 2012). A literatura mostra que este efeito de acúmulo de debris dentinários pode ser mais acentuado durante o preparo com o movimento reciprocante (DIETRICH et al., 2012; FREIRE et al., 2015; ROBINSON et al., 2013), pois cada movimento em rotação inversa do instrumento pode favorecer o acúmulo de debris em áreas de istmo. Já neste estudo, os canais foram preparados com instrumentos do sistema ProTaper Next, os quais são desenhados com o centro de massa em *offset* que, em rotação, produzem uma onda mecânica que percorre a parte ativa do instrumento, propiciando um espaço livre maior melhorando a remoção de debris durante o preparo do canal radicular (AHMETOGLU et al., 2015; ELNAGHY et al., 2017; RUDDLE et al., 2013; ZHAO et al., 2014; ZUOLO et al., 2017). Independente da técnica de preparo, vale ressaltar que, no presente estudo, os ápices das raízes foram selados com resina para evitar extrusão de debris e proporcionar seu acúmulo durante o preparo e durante os protocolos experimentais, visto que em situações clínicas, a raiz está delimitada pelo tecido perirradicular e o canal se comporta como um sistema fechado durante a irrigação (ADCOCK et al., 2011; JOHNSON et al., 2012; SUSIN et al., 2010; TAY et al., 2010).

Em relação a solução irrigante de escolha, é evidente a maior capacidade de limpeza do hipoclorito, utilizada neste estudo, em relação ao soro fisiológico utilizado por LEONI et al. (2017) (AZIMIAN et al., 2019). Além disso, diferentemente de LEONI et al. (2017), neste estudo foi utilizado um dispositivo para simular condições da temperatura corpórea, o que pode favorecer a maior temperatura da solução durante a irrigação do SCR comparado a estudos que não utilizam este dispositivo, o que somado ao aumento de temperatura pela ativação ultrassônica, pode ter contribuído para melhor efetividade da solução irrigante. A capacidade de dissolução

tecidual do hipoclorito é diretamente proporcional à temperatura (SANTOS, 1999), estudos mostram que a dissolução tecidual da solução de NaOCl 1% a 45° C pode ser comparado a solução de NaOCl 5,25% a 20° C (SIRTES et al., 2005). Durante ativação ultrassônica, VAN DER SLUIS et al. (2010), mostraram que o hipoclorito de sódio como solução irrigante é mais efetivo que água destilada na remoção de debris. Por outro lado, MACEDO et al. (2014) mostraram que durante a ativação ultrassônica, a temperatura do irrigante aumentou até 10° C e que esse aumento de temperatura foi insuficiente para aumentar a taxa de reação do NaOCl à dentina radicular.

Além disso, outro fator que poderia explicar a melhor ação do PUI em comparação com a XPF na remoção de DDA em canais com curvatura moderada neste trabalho é que, diferentemente de LEONI et al. (2017), o inserto ultrassônico foi pré-curvado. Em canais com curvatura, estudos mostram que maiores velocidades de fluxo acústico são observadas quando o inserto é pré-curvado (AHMAD et al., 1992; LUMLEY et al., 1992; NUSSTEIN et al 2015).

Vale ainda destacar que, o melhor desempenho do protocolo de irrigação complementar por PUI em relação a XPF, pode estar relacionado ao volume de solução irrigante renovada a cada ciclo de ativação ultrassônica de 20 s. A irrigação intermitente com seringa/agulha utilizada como protocolo da PUI é necessária devido ao fato que debris dentinários, remanescentes teciduais, bactérias e biofilme saturam a solução irrigante e aumentando sua viscosidade impedindo que a atividade ultrassônica ocorra na solução (MOORER, WESSELINK, 1982; WELLER et al., 1980). Pesquisas tem demonstrado também que a renovação de hipoclorito durante a PUI, aumenta a reação da solução e melhora a limpeza dos canais (MACEDO et al., 2014; VAN DER SLUIS et al., 2010) o que não acontece durante protocolo complementar de irrigação com a XPF, em que há apenas uma renovação de solução irrigante.

Os resultados deste estudo mostraram também que, frente a curvatura severa, a PUI apresenta menor efetividade de limpeza da região apical comparado ao protocolo de irrigação final com uso da XPF, o que difere dos resultados encontrados por MALKI et al. (2012), que reportam que o fluxo de irrigante além da ponta do inserto ultrassônico não é afetado pela curvatura do canal.

Devido a curvatura acentuada dos espécimes selecionados neste estudo, houve uma limitação do diâmetro apical final do canal (X2, #25.06), uma vez que o

aumento do diâmetro durante o preparo de canais com esta característica anatômica pode favorecer erros como transporte do canal, formação de degraus e ainda perfuração (LOIZIDES et al., 2006; YAMAMURA et al., 2012), o que reforça o uso de métodos complementares para efetiva limpeza de SCR com curvaturas. Há evidências na literatura que mostram que maiores diâmetros apicais promovem uma irrigação mais efetiva nesta região dos canais radiculares (LEE et al., 2019; PLOTINO et al., 2019; SILVA et al., 2019). LEE et al. (2019), avaliando a influência do tamanho do preparo apical na limpeza de canais circulares e ovais por meio de histologia, mostraram que, em ambas condições de anatômicas, canais preparados com maior diâmetro apical (#40) apresentaram maior limpeza que canais preparados por menor diâmetro apical (#20) quando irrigação realizada pelo método convencional de seringa e agulha, contudo, quando o irrigante foi ativado ultrassonicamente, preparos apicais menores (#20) resultaram em canais tão limpos quanto preparos apicais maiores (#40). Em relação a influência do taper na limpeza com PUI (LEE et al. 2004a, 2004b e VAN DER SLUIS et al. 2005b), mostram que quanto maiores conicidades do canal, maior quantidade de debris pode ser removida de irregularidades simuladas (VAN DER SLUIS et al. 2005b).

Somado a isso, AMATO et al. 2011 reportam que a utilização da PUI na limpeza de canais laterais feitos artificialmente é melhor em canais retos comparado a canais com curvatura, o que pode ser explicado pelo contato do inserto na parede interna do canal na curvatura e na parede externa do canal próximo ao ápice, o que resulta em redução ou restrição da ativação ultrassônica do irrigante.

Dessa forma, considerando que a atividade sinérgica do ultrassom e da solução irrigante não ocorre quando não é permitido o inserto vibrar livremente (BOUSIOUKIS et al., 2013; NUSSTEIN et al., 2015), as menores dimensões do canal associada ao grau de curvatura pode contribuir para redução de efetividade do PUI em curvaturas severas encontradas neste estudo.

Diferentemente, o desenho do instrumento XPF pode favorecer o seu alcance em áreas com dimensões reduzidas e curvaturas, visto que este instrumento não apresenta conicidade e é produzido com liga de NiTi MaxWire altamente flexível. Em canais curvos, ELNAGHY et al. (2017) evidenciaram que a agitação da solução irrigante por meio de EndoActivator e XPF foi mais efetivo na remoção de debris e *smear* comparado a irrigação convencional por seringa/agulha ou agitação manual

com instrumento endodôntico e até o momento é o único estudo do uso deste instrumento na limpeza de canais curvos.

A análise qualitativa mostrou que os debris dentinários remanescentes após o uso da PUI e XPF foram localizados, respectivamente, de forma concentrada nas áreas polares ou em partículas menores distribuídas de forma mais dispersa no canal radicular apical que pode estar relacionado ao mecanismo de ação de cada dispositivo. Uma vez que o instrumento XPF associa alta flexibilidade à ação de chicote contra as paredes do canal radicular durante sua rotação resulta em deslocamento dos tecidos e detritos (LEONI et al., 2017; ŽIVKOVIĆ et al., 2015) podendo provocar quebra dos DDA em partículas menores.

6 Conclusões

Assim, com base na metodologia utilizada e nos resultados obtidos neste estudo, podemos concluir que:

1. Houve redução de DDA no terço apical após os protocolos de irrigação final utilizados;
2. Em curvatura moderada, o protocolo de irrigação ultrassônica passiva apresentou os maiores percentuais de redução de DDA no terço apical;
3. Em curvatura severa, o protocolo de irrigação com XP-endo Finisher apresentou os maiores percentuais de redução de DDA no terço apical;
4. Qualitativamente, os DDA remanescentes no terço apical se localizaram concentrados principalmente nas áreas polares do canal após protocolo com PUI, e se apresentaram em partículas menores distribuídas de forma mais dispersa após protocolo com XPF.

7 Referências bibliográficas

ADCOCK, J. M.; SIDOW, S. J.; LOONEY, S. W.; LIU, Y. MCNALLY, K.; LINDSEY, K.; TAY, F. R. Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. **J Endod.** v. 37, n.4, p.544-548, 2011.

AHMAD, M.; PITTFORD, T. R.; CRUM, L, A. Ultrasonic debridement of root canals: nuan insight into the mechanisms involved. **J. Endod.**, v. 13, p. 93–101, 1987a.

AHMAD, M.; PITTFORD, T. R.; CRUM, L, A. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. **J. Endod.**, v. 13, n. 10, p. 490–9. 1987b.

AHMAD, M.; ROY, R. A.; KAMARUDIN, A. G. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. **Endod. Dent. Traumatol.**, v. 8, p. 189–194, 1992.

AHMETOGLU, F.; KELES, A.; SIMSEK, N.; OCAK, M. S.; YOLOGLU, S. Comparative evaluation of root canal preparations of maxillary first molars with self-adjusting file, reciproc single file, and revo-s rotary file: A micro-computed tomography study. **Scanning**, v. 37, n. 3, p. 218-225, 2015.

AHUJA, P.; NANDINI, S.; BALLAL, S.; VELMURUGAN, N. Effectiveness of four different final irrigation activation techniques on smear layer removal in curved root canals : a scanning electron microscopy study. **J. Dent. (Tehran)**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2014.

AKMAN, M.; AKBULUT, M. B.; AYDINBELGE, H. A.; BELLI, S. Comparison of different irrigation activation regimens and conventional irrigation techniques for the removal of modified triple antibiotic paste from root canals. **J. Endod.**, v. 41, n. 5, p. 720-724, 2015.

AMATO, M.; VANONI-HEINEKEN, I.; HECKER, H.; WEIGER, R. Curved versus straight root canals: the benefit of activated irrigation techniques on dentin debris removal. **Oral surg. Oral med. Oral pathol. Oral radiol. endod.**, v. 111, n. 4, p. 529–534, 2011.

AZIMIAN, S.; BAKHTIAR, H.; AZIMI, S.; ESNAASHARI, E. *In vitro* effect of xp-endo finisher on the amount of residual debris and smear layer on the root canal walls. **Dent. Res. J. (isfahan)**. v. 16, n. 3, p. 179–184, 2019.

BAO, P.; SHEN, Y.; LIN, J.; HAAPASALO, M. IN VITRO Efficacy of Xp-endo finisher with 2 different protocols on biofilm removal from apical root canals. **J. Endod.**, v. 43, n. 2, p. 321–325, 2017.

BARATTO-FILHO, F.; LEONARDI, D. P.; ZIELAK, J. C.; VANNI, J. R.; SAYAO-MAIA, S. M.; SOUSA-NETO, M. D. Influence of ProTaper finishing files and sodium hypochlorite on cleaning and shaping of mandibular central incisors-a histological analysis. **J. Appl. Oral Sci**, v. 17, n. 3, p. 229-233, 2009.

BOUTSIOUKIS, C.; VAN DER SLUIS, L. W. M. Syringe irrigation: blending endodontics and fluid dynamics. In: Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system. **Switzerland: Springer**, p. 45-64, 2015.

BOUTSIOUKIS, C.; VERHAAGEN, B.; WALMSLEY, A. D.; VERSLUIS, M.; VAN DER SLUIS, L. W. Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. **Int. Endod. J.**, v. 46, n. 11, p. 1046–1055, 2013.

BÜRKLEIN, S.; BENTEN, S.; SCHÄFER, E. Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. **Int. Endod. J.**, v. 46, n. 6, p. 590-597, 2013.

BÜRKLEIN, S.; HINSCHITZA, K.; DAMMASCHKE, T.; SCHÄFER, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. **Int. Endod. J.**, v. 45, n. 5, p. 449-461, 2012.

BUSQUIM, S.; CUNHA, R. S.; FREIRE, L.; GAVINI, G.; MACHADO, M. E.; SANTOS, M. A micro-computed tomography evaluation of long-oval canal preparation using reciprocating or rotary systems. **Int. Endod. J.**, v. 48, n. 10, p. 1001-1006, 2015.

CAMERON, J. A. The use of 4 per cent sodium hypochlorite, with or without ultrasound, in cleansing of uninstrumented immature root canals; SEM study. **Aust. Dent. J.**, v. 32, n. 3, p. 204-213, 1987.

CARR, G. B.; SCHWARTZ, R. S.; SCHAUDINN, C.; GORUR, A.; COSTERTON, J. W. Ultrastructural examination of failed molar retreatment with secondary apical periodontitis: an examination of endodontic biofilms in an endodontic retreatment failure. **J. Endod.**, v. 35, n. 9, p. 1303-1309, 2009.

CARVER, K.; NUSSTEIN, J.; READER, A.; BECK, M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. **J. Endod.**, v. 33, n. 9, p. 1038–1043, 2007.

DAI, L.; KHECHEN, K.; KHAN, S.; GILLEN, B.; LOUSHINE, B. A.; WIMMER, C. E.; GUTMANN, J. L.; PASHLEY, D.; TAY, F. R. The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. **J. Endod.**, v. 37, n. 1, p. 80-84, 2011.

DE MELO RIBEIRO, M. V.; SILVA-SOUSA, Y. T.; VERSIANI, M. A.; LAMIRA, A.; STEIER, L.; PÉCORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Comparison of the cleaning efficacy of self-adjusting file and rotary systems in the apical third of oval-shaped canals. **J. Endod.**, v. 39, n. 3, p. 398-401, 2013.

DE-DEUS, G.; BELLADONNA, F. G.; SIMÕES-CARVALHO, D.; CAVALCANTE, M.; RAMALHO, C. N. M. J.; SOUZA, E. M.; LOPES, R. T.; SILVA, E. J. N. L. Shaping efficiency as a function of time of a new heat-treated instrument. **Int. Endod. J.**, v. 52, n. 3, p. 337-342, 2019.

DE-DEUS, G.; BELLADONNA, F. G.; SILVA, E. J.; MARINS, JR.; SOUZA, E. M.; PEREZ, R. LOPES, R. T.; VERSIANI, M. A.; PACIORNIK, S.; NEVES, A. A Micro-ct evaluation of non-instrumented canal areas with different enlargements performed by niti systems. **Braz Dent J.**, v. 26, n. 6, p. 624-629, 2015a.

DE-DEUS, G.; MARINS, J.; SILVA, E. J.; SOUZA, E.; BELLADONNA, F. G.; REIS, C.; MACHADO, A. S.; LOPES, R. T.; VERSIANI, M. A.; PACIORNIK, S.; NEVES, A. A. Accumulated hard tissue debris produced during reciprocating and rotary nickel-titanium canal preparation. **J. Endod.**, v. 41, n. 5, p. 676-681, 2015b.

DE-DEUS, G.; MARINS, J.; NEVES ADE, A.; REIS, C.; FIDEL, S.; VERSIANI, M. A.; ALVES, H.; LOPES, R. T.; PACIORNIK, S. Assessing accumulated hard-tissue debris using micro-computed tomography and free software for image processing and analysis. **J. Endod.**, v. 40, n. 2, p. 271-276, 2014.

DE-DEUS, G. Research that matters - root canal filling and leakage studies. **Int. Endod. J.**, v. 45, n. 12, p. 1063-1064, 2012.

DIETRICH, M. A.; KIRKPATRICK, T. C.; YACCINO, J. M. In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. **J. Endod.**, v. 38, n. 8, p. 1140-1144, 2012.

DUQUE, J. A.; VIVAN, R. R.; CAVENAGO, B. C.; ET AL. Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems. **J. Appl. Oral Sci.**, v. 25, n. 1, p. 27-33, 2017.

ELNAGHY, A. M.; MANDORAH, A.; ELSAKA, S. E. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. **Odontol.**, v. 105, n.2, p. 178-183, 2017.

ENDAL, U.; SHEN, Y.; KNUT, A.; GAO, Y.; HAAPASALO, M. A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. **J. Endod.**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2011.

ESPIR, C. G.; NASCIMENTO-MENDES, C. A.; TANOMARU, J. M.; FREIRE, L. G.; GAVINI, G.; TANOMARU-FILHO, M. Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-ct analysis. **Int Endod J.**, v. 51, n. 5, p. 541-548, 2018.

FAN, B.; PAN, Y.; GAO, Y.; FANG, F.; WU, Q.; GUTMANN, J. L. Three-dimensional morphologic analysis of isthmuses in the mesial roots of mandibular molars. **J. Endod.**, v. 36, n. 11, p. 1866-1869, 2010.

FREIRE, L. G.; IGLECIAS, E. F.; CUNHA, R. S.; DOS SANTOS, M.; GAVINI, G. Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. **J. Endod.**, v. 41, n. 10, p. 1660-1666, 2015.

GAGLIARDI, J.; VERSIANI, M.A.; DE SOUSA-NETO, M. D.; PLAZAS-GARZON, A.;

BASRANI, B. Evaluation of the shaping characteristics of protaper gold, protaper next, and protaper universal in curved canals. **J. Endod.**, v. 41, n. 10, p. 1718-1724, 2015.

GERGI, R.; OSTA, N.; BOURBOUZE, G.; ZGHEIB, C.; ARBAB-CHIRANI, R.; NAAMAN, A. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. **Int. Endod. J.**, v. 48, n. 2, p. 162-170, 2015.

GOODMAN, A.; READER, A.; BECK, M.; MELFI, R.; MEYERS, W. An in vitro comparison of the efficacy of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. **J. Endod.**, v. 11, n. 6, p. 249-256, 1985.

GU, L. S.; KIM, J. R.; LING, J.; CHOI, K. K.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. **J. Endod.**, v. 35, n. 6, p. 791-804, 2009a.

GU, L.; WEI, X.; LING, J.; HUANG, X. A microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mesial root of mandibular first molars in a Chinese population. **J. Endod.**, v. 35, n. 3, p. 353-356, 2009b.

GUIMARÃES, L. S.; GOMES, C. C.; MARCELIANO-ALVES, M. F.; CUNHA, R. S.; PROVENZANO, J. C.; SIQUEIRA, J. F. JR. Preparation of oval-shaped canals with trushape and reciproc systems: a micro-computed tomography study using contralateral premolars. **J. Endod.**, v. 43, n. 6, p. 1018-1022, 2017.

GUTARTS, R.; NUSSTEIN, J.; READER, A.; BECK, M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. **J. Endod.**, v. 31, n. 3, p. 166-170, 2005.

GUTMANN, J. L.; GAO, Y.; Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. **Int. Endod. J.**, v. 45, n. 2, p. 113-128, 2012.

HAAPASALO, M.; SHEN, Y.; WANG, Z.; GAO, Y. Irrigation in endodontics. **Br. Dent. J.**, v. 216, n. 6, p. 299-303, 2014.

HANCOCK J. Ultrasonic cleaning. ASM Handbook. Vol 5: **Surface Engineering**. p. 44-47, 1994.

HAUPT, F.; MEINEL, M.; GUNAWARDANA, A.; HULSMANN, M. Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. **Aust. Endod. J.** 2019.

HÜBSCHER, W.; BARBAKOW, F.; PETERS, O, A. Root canal preparation with FlexMaster: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. **Int. Endod. J.**, v. 36, n. 12, p. 883-890, 2003.

JOHNSON, M.; SIDOW, S. J.; LOONEY, S. W.; LINDSEY, K.; NIU, L. N.; TAY, F. R. Canal and isthmus debridement efficiency using a sonic irrigation technique in a closed- canal system. **J. Endod.**, v. 38, n. 9, p. 1265–1268, 2012.

KELEŞ, A.; ALÇIN, H.; SOUSA-NETO, M. D.; VERSIANI, M. A. Supplementary steps for removing hard tissue debris from isthmus-containing canal systems. **J. Endod.**, v. 42, n. 11, p. 1677-1682, 2016.

LACERDA, M. F. L. S.; MARCELIANO-ALVES, M. F.; PÉREZ, A. R.; PROVENZANO, J. C.; NEVES, M. A. S.; PIRES, F. R.; GONÇALVES, L. S.; RÔÇAS, I. N.; SIQUEIRA, J. F. JR. Cleaning and Shaping Oval Canals with 3 Instrumentation Systems: A Correlative Micro-computed Tomographic and Histologic Study. **J. Endod.**, v. 43, n. 11, p. 1878-84, 2017.

LEE, S. J.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. **Int. Endod. J.**, v. 37, n. 10, p. 672-678, 2004a.

LEE, S. J.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. **Int. Endod. J.**, v. 37, p. 607–612, 2004b.

LEE, O. Y. S.; KHAN, K.; LI, K. Y.; SHETTY, H.; ABIAD, R. S.; CHEUNG, G. S. P.; NEELAKANTA, P. Influence of apical preparation size and irrigation technique on root canal debridement: a histological analysis of round and oval root canals. **Int. Endod. J.**, 2019.

LEONI G. B., VERSIANI M. A., SILVA-SOUSA Y. T., BRUNIERA J. F. B., PECORA J. D., SOUSA-NETO M. D. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. **Int. Endod. J.**, v. 50, p. 398-406, 2017.

LOIZIDES, A. L.; KAKAVETSOS, V. D.; TZANETAKIS, G. N.; KONTAKIOTIS, E. G.; ELIADES, G. A Comparative Study of the Effects of Two Nickel–Titanium Preparation Techniques on Root Canal Geometry Assessed by Microcomputed Tomography. **J. Endod.**, v. 33, n. 12, p. 1455-1459, 2006.

LOPES, H. P.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. F.; ROÇAS, I. N.; ELIAS, C. N. Irrigação dos canais radiculares. In: Endodontia: biologia e técnica. Rio de Janeiro: **Elsevier**, p. 447-476, 2015.

LOPES, R. M. V.; MARINS, F. C.; BELLADONNA, F. G. Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. **Aust. Endod. J.**, 2017.

LUMLEY, P. J.; WALMSLEY, A. D.; WALTON, R. E.; RIPPIN, J. W. Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. **J. Endod.**, v. 18, n. 12, p. 616–619, 1992.

MACEDO, R. G.; VERHAAGEN, B.; WESSELINK, P. R.; VERSLUIS, M.; VAN DER SLUIS, L. W. Influence of refreshment/ activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. **Int. Endod. J.**, v. 47, n. 2, p. 147–54, 2014.

MALKI, M.; VERHAAGEN, B.; JIANG, L. M.; NEHME, W.; NAAMAN, A.; VERSLUIS, M.; WESSELINK, P.; VAN DER SLUIS, L. Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. **J. Endod.**, v. 38, n. 5, p. 657–661, 2012.

MARCELIANO-ALVES, M. F.; SOUSA-NETO, M. D.; FIDEL, S. R.; STEIER, L.; MARTIN, H.; CUNNINGHAM, W. T. Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system. **Int Dent J.**, v. 34, n. 3, p.198–203. 1984.

MOORER, W. R.; WESSELINK, P. R. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. **Int. Endod. J.**, v. 15, n. 4, p. 187–196, 1982.

MUNOZ HR, CAMACHO-CUADRA, K. In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. **J. Endod.**, v. 38, n. 4, p. 445-448, 2012.

NAIR, P. N.; HENRY, S.; CANO, V.; VERA, J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, v. 99, n. 2, p. 231-252, 2005.

NUSSTEIN, J. M. Sonic and ultrasonic irrigation. In: Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system. **Switzerland: Springer**, p. 173-198, 2015.

PAQUÉ, F.; AL-JADAA, A.; KFIR, A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. **Int. Endod. J.**, v. 45, n. 5, p. 413-418, 2012.

PAQUÉ, F.; BOESSLER, C.; ZEHNDER, M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. **Int. Endod. J.**, v. 44, n. 2, p. 148-153, 2011.

PAQUÉ, F.; GANAHL, D.; PETERS, O. A. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. **J. Endod.**, v. 35, n. 7, p. 1056-1059, 2009.

PAQUÉ, F.; MUSCH, U.; HULSMANN, M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. **Int. Endod. J.**, v. 38, n. 1, p. 8-16, 2005.

PASQUALINI, D.; ALOVISI, M.; CEMENASCO, A.; MANCINI, L.; PAOLINO, D. S.; BIANCHI, C. C.; ROGGIA, A.; SCOTTI, N.; BERUTTI, E. Micro-Computed Tomography Evaluation of ProTaper Next and BioRace Shaping Outcomes in Maxillary First Molar Curved Canals. **J. Endod.**, v. 41, n. 10, p. 1706-1710, 2015.

PASSARINHO-NETO, J. G.; MARCHESAN, M. A.; FERREIRA, R. B.; SILVA, R. G.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. **Aust. Endod. J.**, v. 32, n. 3, p. 123-128, 2006.

PEREZ, R.; NEVES, A. A.; BELLADONNA, F. G.; SILVA, E. J. N.; SOUZA, E. M.; FIDEL, S.; VERSIANI, M. A.; LIMA, I.; CARVALHO, C.; DE-DEUS, G. Impact of needle insertion depth on the removal of hard-tissue debris. **Int. Endod. J.**, v.50, n. 6, p. 560–568, 2017.

PETERS, O. A.; ARIAS, A.; PAQUÉ, F. A.; Micro-computed Tomographic Assessment of Root Canal Preparation with a Novel Instrument, TRUShape, in Mesial Roots of Mandibular Molars. **J. Endod.**, v. 41, n. 9, p 1545-1550, 2015.

PLOTINO, G.; OZYUREK, T.; GRANDE, N. M.; GUNDOGAR, M. G. Influence of size and taper of basic root canal preparation on root canal cleanliness: a scanning electron microscopy study. **Int. Endod. J.**, v. 52, n. 3, p. 345-351, 2019.

RHODES, J.; FORD, T.; LYNCH, J.; LIEPINS, P.; CURTIS, R. A comparison of two nickel–titanium instrumentation techniques in teeth using microcomputed tomography. **Int. Endod. J.**, v. 33, n. 3, p. 279-285, 2000.

ROBINSON, J. P.; LUMLEY, P. J.; CLARIDGE, E.; COOPER, P. R.; GROVER, L. M.; WILLIAMS, R. L.; WALMSLEY, A. D. An analytical Micro CT methodology for quantifying inorganic dentine debris following internal tooth preparation. **J. Dent.**, v. 40, n. 11, p. 999-1005, 2012.

ROBINSON, J. P.; LUMLEY, P. J.; COOPER, P. R.; GROVER, L. M.; WALMSLEY, A. D. Reciprocating root canal technique induces greater debris accumulation than a continuous rotary technique as assessed by 3-dimensional micro-computed tomography. **J. Endod.**, v. 39, n. 8, p. 1067-1070, 2013.

ROBINSON, J. P.; PÉCORA, J. D.; VERSIANI, M. A. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. **Int. Endod. J.**, v. 48, n. 12, p. 1129-1136, 2015.

RODIG, T.; SEDGHI, M.; KONIETSCHKE, F.; LANGE, K.; ZIEBOLZ, D.; HULSMANN, M. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. **Int. Endod. J.**, v. 43, n. 7, p. 581-589, 2010.

RUDDLE, C. J.; MACHTOU, P.; WEST, J. D.; The shaping movement: fifth-generation technology. **Dent. Today**, v. 32, n. 4, p. 96-99, 2013.

SANTOS, T. C. Estudo *in vitro* do efeito do aumento da temperatura das soluções de hipoclorito de sódio sobre suas propriedades físicas químicas anteriores e posteriores à dissolução do tecido pulár bovino. Ribeirão Preto, 1999, p.108. **Dissertação (Mestrado)** – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Prteto, Universidade de São Paulo, 1999.

SCHIAVOTELO, T. C. L.; COELHO, M. S.; RASQUIN, L. C.; ROCHA, D. G. P.; FONTANA, C. E.; BUENO, C. E. S. Ex-vivo Smear Layer Removal Efficacy of Two Activated Irrigation Techniques After Reciprocating Instrumentation in Curved Canals. **The Open Dent. J.**, v. 11, p. 512-519, 2017.

SCHMIDT, T. F.; TEIXEIRA, C. S.; FELIPPE, M. C.; FELIPPE, W. T.; PASHLEY, D. H.; BORTOLUZZI, E. A. Effect of ultrasonic activation of irrigants on smear layer removal. **J. Endod.**, v. 41, n. 8, p. 1359-1363, 2015.

SCHNEIDER, S. W. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 32, n. 2, p. 271-275, 1971.

SILVA, E. J. N. L.; CARVALHO, C. R.; BELLADONNA, F. G.; PRADO, M. C.; LOPES, R. T.; DE-DEUS, G. MOREIRA, E. J. L. Micro-CT evaluation of different final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from isthmus-containing mesial root of mandibular molar. **Clin. Oral Investig.**, v. 23, p. 681–687, 2019.

SIQUEIRA, J. F., JR.; ALVES, F. R.; VERSIANI, M. A.; ROÇAS, I. N.; ALMEIDA, B. M.; NEVES, M. A.; SOUSA-NETO, M. D. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by Self-Adjusting File, Reciproc, and Twisted File systems. **J. Endod.**, v. 39, n. 8, p. 1044-1050, 2013.

SIQUEIRA, J. F. JR.; RÔÇAS, I, N. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. **J. Endod.**,v. 34, n. 11, p. 1291-1301, 2008.

SIRTES, G.; WALTIMO, T.; SCHAETZLE, M.; ZEHNDER, M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. **J Endod.**, v., 31, n. 9, p. 669–671, 2005.

SOUSA-NETO M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T. C.; MAZZI-CHAVES, J. F. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. **Braz Oral Res.**, v. 32, n. 20-43, 2018.

STRINGHETA, C. P.; BUENO, C. E. S.; KATO, A. S.; FREIRE, L. G.; IGLECIAS, E. F.; SANTOS, M.; PELEGRINE, R. A. Micro-computed tomographic evaluation of the shaping ability of four instrumentation systems in curved root canal. **Int. Endod. J.**, v. 52, n. 6, p. 908-916, 2019.

SUSIN, L.; LIU, Y.; YOON, J. C.; PARENTE, J. M.; LOUSHINE, R. J.; RICUCCI, D.; BRYAN, T.; WELLER, R. N.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. **Int. Endod. J.**, v. 43, n. 12, p. 1077-1090, 2010.

TANOMARU-FILHO, M.; MIANO, L. M.; CHAVEZ-ANDRADE, G. M.; ESTEVES TORRES, F. F.; LEONARDO RDE, T.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M. Cleaning of root canal system by different irrigation methods. **J. Contemp. Dent. Pract.**, v. 16, n. 11, p. 859-863, 2015.

TAY, F. R.; GU, L. S.; SCHOEFFEL, G. J.; WIMMER, C.; SUSIN, L.; ZHANG, K.; ARUN, S. N.; KIM, J.; LOONEY, S. W.; PASHLEY, D. H. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive- pressure irrigant delivery. **J. Endod.**, v. 36, n. 4, p. 745–750, 2010.

THOMAS, A. R.; VELMURUGAN, N.; SMITA, S.; JOTHILATHA, S. Comparative evaluation of canal isthmus debridement efficacy of modified EndoVac technique with different irrigation systems. **J. Endod.**, v. 40, n. 10, p. 1676-1680, 2014.

VAN DER SLUIS, L. W.; VERSLUIS, M.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. **Int. Endod. J.**, v. 40, n. 6, p. 415-426, 2007.

VAN DER SLUIS, L. W.; VOGELS, M. P.; VERHAAGEN, B.; MACEDO, R.; WESSELINK, P. R. Study on the influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant. **J. Endod.**, v. 36, n. 4, p. 737–740, 2010.

VAN DER SLUIS, L. W.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. **Int. Endod. J.**, v. 38, n. 9, p. 593-596, 2005a.

VAN DER SLUIS, L. W.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. **Int. Endod. J.**, v. 38, p. 764–768, 2005b.

VARELA, P.; SOUZA, E.; DEUS, G.; DURAN-SINDREU, F.; MERCADÉ, M. Effectiveness of complementary irrigation routines in debriding pulp tissue from root canals instrumented with a single reciprocating file. **Int. Endod. J.**, v. 52, n. 4, p. 475-483, 2018.

VERSIANI, M. A.; ALVES, F. R. F.; ANDRADE-JUNIOR, C. V.; MARCELIANO-ALVES, M. F.; PROVENZANO, J. C.; RÔÇAS, I. N.; SOUSA-NETO, M. D.; JR, J. F. Micro-CT evaluation of the efficacy of hard-tissue removal from the root canal and isthmus area by positive and negative pressure irrigation systems. **Int. Endod. J.**, v. 49, n. 11, p. 1079–1087, 2016.

VERSIANI, M. A.; CARVALHO, K. K. T.; MAZZI-CHAVES, J. F.; SOUSA-NETO, M.D.; Micro-computed Tomographic Evaluation of the Shaping Ability of XP-endo Shaper, iRaCe, and EdgeFile Systems in Long Oval-shaped Canals. **J. Endod.**, v. 44, n. 3, p. 489-495, 2017.

VERSIANI, M. A.; LEONI, G. B.; STEIER, L.; DE-DEUS, G.; TASSANI, S.; PÉCOR, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the Self-Adjusting File, Reciproc, WaveOne, and ProTaper Universal systems. **J. Endod.**, v. 39, n. 8, p. 1060-1066, 2013.

VERSTRAETEN, J.; JACQUET, W.; DE MOOR, R. J. G.; MEIRE, M. A. Hard tissue debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with

ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. **Laser in medical science**, v. 32, n. 9, p. 1965-1970, 2017.

VERTUCCI, F. J. Root canal anatomy of the human permanent teeth. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 58, n. 5, p. 589-599, 1984.

VERTUCCI, F. J. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. **Endod. Topics**, v. 10, p. 3-29, 2005.

VON ARX, T. Frequency and type of canal isthmuses in first molars detected by endo-scopic inspection during periradicular surgery. **Int. Endod. J.**, v. 38, p. 8, 2005.

VON ARX, T.; STEINER, R. G.; TAY, F. R. Apical surgery: endoscopic findings at the resection level of 168 consecutively treated roots. **Int. Endod. J.**, v. 44, n. 4, p. 290-302, 2011.

WELLER, R. N.; BRADY, J. M.; BERNIER, W. E. Efficacy of ultrasonic cleaning. **J. Endod.**, v. 6, n. 9, p. 740-743, 1980.

WELLER, R. N.; NIEMCZYK, S. P.; KIM, S. Incidence and position of the canal isthmus. Part 1. Mesio Buccal root of the maxillary first molar. **J. Endod.**, v. 21, n. 7, p. 380-383, 1995.

YAMAMURA, B.; COX, T. C.; HEDDAYA, B.; FLAKE, N. M.; JOHNSON, J. D.; PARANJPE, A.; Comparing Canal Transportation and Centering Ability of EndoSequence and Vortex Rotary Files by Using Micro-Computed Tomography. **J. Endod.**, v. 38, n. 8, p. 1121-1125, 2012.

ZHAO, D.; SHEN, Y.; PENG, B.; HAAPASALO, M.; Root Canal Preparation of Mandibular Molars with 3 Nickel-Titanium Rotary Instruments: A Micro-Computed Tomographic Study. **J. Endod.**, v. 40, n. 11, p. 1860-1864, 2014.

ZHAO, Y.; FAN, W.; XU, T.; TAY, F. R.; GUTMANN, J. L.; FAN, B. Evaluation of several instrumentation techniques and irrigation methods on the percentage of untouched canal wall and accumulated dentine debris in C-shaped canals. **Int. Endod. J.**, 2019.

ŽIVKOVIĆ, S.; NEŠKOVIĆ, J.; JOVANOVIĆ-MEDOJEVIĆ, M.; POPOVIĆ-BAJIĆ, M.; ŽIVKOVIĆ-SANDIĆ, M. XP-endo Finisher: a new solution for smear layer removal. **Serbian Dent. J.**, v. 62, n. 3, p. 122-126, 2015.

ZUOLO, M. L.; ZAIA, A. A.; BELLADONNA, F. G.; SILVA, E. J.; SOUZA, E. M.; VERSIANI, M.; LOPES, R. T., DE-DEUS, G. A Micro-CT assessment of the shaping ability of four root canal instrumentation systems in oval-shaped canals. **Int. Endod. J.**, v. 51, n. 5, p. 564-571, 2018.

ZUOLO, M. L.; ZAIA, A. A.; BELLADONNA, F. G.; SILVA, E. J.; SOUZA, E. M.; VERSIANI, M. A. Micro-CT assessment of the shaping ability of four root canal instrumentation systems in oval-shaped canals. **Int. Endod. J.**; v.51, n.5, p.564-571, 2018.

